Grundlagen

zur

Beurteilung der Ackerkrume

in Beziehung auf

landwirtschaftliche Pflanzenproduktion.

Von

Professor Dr. R. Heinrich,

Dirigent der landwirtschaftlichen Versuchs-Station zu Rostock.

Von dem mecklenburgischen patriotischen Verein

gekrönte Preisschrift.

Mit 4 Tafeln Abbildungen und 3 in den Text gedruckten Holzschnitten.

Wismar.

Hinstorff'sche Hofbuchhandlung Verlags-Conto.

1882.

Grundlagen

zur

Beurteilung der Ackerkrume

in Beziehung auf

landwirtschaftliche Pflanzenproduktion.

Von

Professor Dr. R. Heinrich,

Dirigent der landwirtschaftlichen Versuchs-Station zu Rostock.

Von dem mecklenburgischen patriotischen Verein
gekrönte Preisschrift.

Mit 4 Tafeln und 3 in den Text gedruckten Holzschnitten.

Wismar.
Hinstorff'sche Hofbuchhandlung, Verlags-Conto.
1882.

Inhalts-Übersicht.

Einleitung.

Der Wert eines Ackerbodens ist abhängig von der Menge verwertbarer Pflanzenmassen, die wir auf ihm mit den geringsten Betriebskosten zu erzielen im Stande sind.

Alle Verhältnisse, welche den Pflanzenwuchs hemmen oder beeinträchtigen, oder welche die Verwertbarkeit der produzierten Pflanzen vermindern, vermindern gleichzeitig auch den Wert des Bodens für den Landwirt.

Um den Wert eines Ackerbodens kennen zu lernen ist es daher nötig, alle diejenigen Verhältnisse einer kritischen Würdigung zu unterziehen, welche nach Obigem den Pflanzenwuchs bedingen und die Verwertung der pflanzlichen Produkte ermöglichen.

Die erwähnten Verhältnisse sind die Faktoren der landwirtschaftlichen Pfanzenproduktion; in ihrer Gesamtheit regeln sie den Reinertrag des Pflanzenbaues.

Jeder einzelne Faktor ist unvertretbar, d. h. fehlt er ganz, so ist ein Reinertrag in landwirtschaftlichem Sinne durch die Gesamtheit der übrigen vorhandenen Faktoren unmöglich.

Das Pflanzenleben ist abhängig

1. von dem Gehalt des Bodens an Nährstoffen,
2. von gewissen physikalischen Verhältnissen des Bodens,
3. von zusagenden klimatischen Einflüssen.

Die Verwertung der Pflanzenprodukte wird bedingt

4. durch allgemeine Verhältnisse (Bevölkerung, Verbindungswege u. s. w.).

Seit den Lehren Justus von Liebig's ist es allgemein anerkannt, daß die Erträge der Ackerböden durch das Vorhandensein der betreffenden Nährstoffe bedingt und geregelt

werden. Was von den Nährstoffen gilt, gilt in gleicher Weise auch von den übrigen Faktoren der Pflanzenproduktion. Fehlt dem Boden die nöthige Feuchtigkeit, oder ist er nicht durchlüftbar; ist die Lage des Bodens derartig, daß die auf ihm vegetierenden Pflanzen nicht die nötige Wärme, oder diese nicht lange genug empfangen können, so gedeihen die Pflanzen nicht; ist der Boden in Landstrichen gelegen, in welchen die Bevölkerung und Kommunikationsmittel fehlen, so wird die Pflanzenproduktion wertlos, und mit ihr der Boden. Auch in dieser Allgemeinheit gilt das von Liebig für die Pflanzen-Nährstoffe im Besonderen aufgestellte Gesetz: Der Wert des Bodens wird bedingt durch **den** Faktor, der im **geringsten Maße** vertreten ist.

Es erklärt sich hieraus, warum unter den verschiedensten Verhältnissen der Ertrag des Bodens durch verschiedene der oben genannten Faktoren geregelt wird. In dem einen Falle ist es die gegebene Düngung (Nährstoffe = chemischer Gehalt des Bodens), in dem andern der Regenfall, in dem dritten die Temperatur u. s. w.; dort sind Nährstoffe, hier Bodenfeuchtigkeit oder Wärme in dem geringsten Maße vertreten. Je einer dieser Faktoren regelt dann den Ertrag, die übrigen, selbst wenn sie in günstigstem Maße vertreten sind, können den Ertrag nicht steigern, denn sie vermögen nicht den mangelnden Faktor zu ersetzen.

Es ergiebt sich hieraus von selbst, warum alle diejenigen Systeme für Bodenbeurteilung, welche als Wertmesser des Bodens nur einen oder einige der erwähnten Faktoren der Pflanzenproduktion annehmen, auf einem ganz falschen Prinzip beruhen und zu irrigen oder in der Luft schwebenden Resultaten führen müssen. Es ist bei dem wissenschaftlichen Geist der Neuzeit schwer erklärbar, wie noch heute neue Systeme für die Beurteilung des Bodens aufgestellt werden können, bei welchen nur einzelne Faktoren berücksichtigt werden. Von den zahlreichen Bonitierungssystemen, welche sich lediglich auf den chemischen Gehalt des Bodens, oder auf dessen physikalische Beschaffenheit, oder auf den geologischen Bau stützen,

ist kein einziges weder für praktische noch für wissenschaftliche Zwecke brauchbar. Jeder, der sich auch nur oberflächlich mit der Pflanzenkultur beschäftigt, muß zu dieser Überzeugung geführt werden. Die erwähnten Bonitierungssysteme sind deshalb unbrauchbar, weil sie den Fundamentalsatz unberücksichtigt lassen: Die Faktoren der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion sind **sämtlich gleichwertig.**

In der heißen Zone, sowie in den trocknen Sandgegenden unserer gemäßigten Zone ist der regelmäßige und entsprechend verteilte Regen der hauptsächlichst erkennbare Faktor für den Pflanzenwuchs[1]), in hoch gelegenen Gebirgsgegenden der Verlauf der Temperatur in den Vegetationsmonaten, — jedermann wird es aber für unstatthaft halten, deshalb auf den Regenfall oder auf die Temperaturgröße allein eine Schätzung des Bodens zu gründen. Eine sachgemäße Beurteilung des Ackerbodens soll alle Verhältnisse einer Würdigung unterziehen, welche auf das Pflanzenwachstum und auf die Verwertung der pflanzlichen Erzeugnisse von Bedeutung sind.

Das Resultat einer solchen Prüfung wird nicht allein darin bestehen, einerseits die Brauchbarkeit, andererseits die Mängel des Bodens für die Pflanzen-Kultur aufzudecken, es wird gleichzeitig auch Mittel und Wege an die Hand geben, durch welche die Mängel beseitigt, die Produktionsfähigkeit des Bodens gesteigert werden kann. In zahlreichen Fällen bedarf es nur der Erkenntnis des wirklichen Grundes einer ungenügenden Produktionsfähigkeit des Bodens, um die Mängel zu beseitigen.

Eine allgemeine Schätzung der Ertragsfähigkeit des Ackerbodens, wie sie zum Zweck der Steuerveranlagung, Geldbeleihung u. s. w. geübt wird, hat für die praktische Landwirtschaft keine direkte Bedeutung. Der praktische Landwirt kann sich nicht damit begnügen, daß er berechnet, eine 1 ha große Ackerfläche bringe einen Reinertrag von x ℳ, sondern er will zu der Einsicht gelangen, warum der Boden nur diesen Ertrag liefert und wodurch die Erträge gesteigert werden können.

Die Mehrzahl der jetzt gebräuchlichen Bonitierungssysteme befriedigen aus diesem Grunde den praktischen Landwirt nicht: Sie führen ihn nicht zu der Einsicht, wodurch die Produktionsfähigkeit des Bodens gehoben werden kann.

Die Materialien, welche die Grundlage für die Beurteilung des Ackerbodens bilden, müssen alle Faktoren der Pflanzenproduktion umfassen, so daß aus ihnen auch für denjenigen, der den Boden aus dem Augenschein nicht kennt, mit Sicherheit die größere oder geringere Fruchtbarkeit, die zu erzielenden Reinerträge abgeleitet werden können; es müssen in ihnen diejenigen Faktoren der Pflanzenproduktion erkennbar sein, welche (weil sie im geringsten Maße vorhanden sind) den Reinertrag regeln, wodurch ferner wieder das Urteil möglich wird, ob der im Minimum vorhandene Faktor durch künstliche Mittel gestärkt werden kann oder nicht.

Die Aufgabe einer für den Landwirt brauchbaren Bodenkunde wird also darin bestehen:

1. die Faktoren der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion klar zu legen;
2. die Mittel an die Hand zu geben, durch welche die Produktionsfähigkeit des Bodens gehoben werden kann.

I. Abteilung.

Die chemischen Verhältnisse des Bodens in ihren Beziehungen zur Pflanzen-Ernährung.

1. Die Pflanzennährstoffe.

Die wissenschaftlichen Forschungen haben nachgewiesen, — und die praktischen Erfahrungen bestätigen dies, — daß den Pflanzen 11 Elemente in zweckentsprechenden Verbindungen zur Verfügung stehen müssen, um in normaler Weise gedeihen zu können. Es sind dies folgende Elemente: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Eisen, Magnesium, Calcium, Kalium und außerdem Chlor. Wir bezeichnen diese Stoffe, resp. die Verbindungsformen, in welchen sie von den Pflanzen aufgenommen und benutzt werden, als Nährstoffe.

Die genannten 11 Elemente sind für den Lebensprozeß der Pflanzen unentbehrlich; kein einziges darf fehlen, wenn die Pflanzen wachsen und ihr Gewicht vermehren sollen. Kultiviert man Pflanzen in reinem Wasser, dem man die entsprechenden Nährstoffe künstlich zugesetzt hat, so gedeihen die meisten unserer Kulturpflanzen ganz normal, gleichwie im Ackerboden. Läßt man nun in der Lösung irgend einen der Nährstoffe weg, so beobachtet man, daß die Pflanzen in ihrer Entwickelung gänzlich gehemmt sind; sie entwickeln sich kaum mehr, als wenn man ihnen gar keine Nährstoffe gegeben hätte, trotzdem ihnen ja nur der eine Nährstoff fehlt. Das Resultat ähnlicher Versuche zeigen die in der Tafel I. abgebildeten Durchschnittspflanzen. Die Pflanzen wurden unter folgenden Verhältnissen kultiviert:

Nr. 1.	In reinem Wasser ohne jeglichen Zusatz von Nährstoffen.	
Nr. 2.	Ohne Stickstoff-Nahrung.	Sonst standen den Pflanzen die gleichen Nährstoffmengen zur Verfügung als den Pflanzen Nr. 5.
Nr. 3.	Ohne Phosphorsäure-Nahrung.	
Nr. 4.	Ohne Kalk-Nahrung.	
Nr. 5.	Mit vollständiger Nährstoffzuführung.	

Einzelne der Nährstoff-Elemente sind in ihrem chemischen Verhalten und in ihren sonstigen Eigenschaften anderen Elementen ähnlich, aber diese vermögen nicht jene in dem Lebensprozesse der Pflanzen zu vertreten. Dem Kalium in seinem chemischen Verhalten sehr ähnlich sind Rubidium, Caesium, Lithium; dem Schwefel ähnlich ist das Selen; mit dem Phosphor übereinstimmende Verbindungen giebt das Arsen, aber weder vermögen Rubidium, Caesium, Lithium, das Kalium, noch vermag Selen den Schwefel, noch Arsen den Phosphor in ihrer Thätigkeit im Pflanzenorganismus zu ersetzen. Die Pflanzen haben für diese ähnlichen Verbindungen ein sehr scharfes Unterscheidungsvermögen. Wenn sie die betreffenden Verbindungen auch in die Gewebsteile aufnehmen, so vermögen diese Vertreter doch nicht die physiologischen Funktionen auszuführen: Die Pflanzen verhalten sich gerade so, als wenn ihnen kein Kalium, kein Schwefel oder kein Phosphor in zweckentsprechenden Verbindungen gegeben worden war; sie kränkeln (hungern) und sterben ab, ohne ihr Gewicht um ein Beträchtliches vermehrt zu haben.

Neben den Nährstoffen enthalten die Pflanzen auch noch andere Bestandteile, die nicht zu den Nährstoffen gehören, überhaupt für das Pflanzenleben ohne Bedeutung sind, denn die Pflanzen können normal gedeihen, wenn dieselben ganz fehlen. [2]) Hierher gehören namentlich die in den Pflanzen weitverbreiteten Elemente Natrium, Mangan und Silicium. Hierbei ist auf den besonders unter den Landwirten weit verbreiteten Irrtum hinzuweisen, nach welchem die Halmgewächse, um die nötige Steifheit der Halme zu er-

langen, der Kieselsäure (die Sauerstoff-Verbindung des Siliciums) bedürfen. Dies ist, wie erwähnt, ein Irrtum, denn Hafer, Gerste, Roggen und Weizen können wachsen und normale straffe Halme zur Entwickelung bringen, ohne dazu auch nur eine Spur von Kieselsäure nötig zu haben.[3]) —

Wichtig für uns sind nun die Verbindungsformen, in welchen die obigen Elemente den Pflanzen geboten werden müssen, um benutzt werden zu können, und die Quellen, aus denen die Pflanzen diese Nährstoffe beziehen.

Die wissenschaftlichen Forschungen haben darüber Folgendes gelehrt.

Kohlenstoff.

Ungefähr die Hälfte der pflanzlichen Trockensubstanz besteht aus Kohlenstoff.

Früher glaubte man, daß dieser von der Pflanze aus den Humussubstanzen des Bodens geschöpft würde. Jetzt weiß man, daß der Humus (die verwesenden organischen Teile des Ackerbodens) als Nährstoff gar keine Bedeutung besitzt. Der Humus hat nur, worauf wir später zurückkommen werden, Bedeutung durch seine physikalischen Eigenschaften, sowie durch die Endprodukte seiner Zersetzung, wobei allerdings Pflanzennährmittel sich bilden. (Kohlensäure, Wasser, Salpetersäure und die frei werdenden Mineralstoffe.)

Die einzige Quelle für den Kohlenstoff in den Pflanzen bildet die Kohlensäure (Verbindung des Kohlenstoffs mit Sauerstoff), welche einen stetigen, wenn auch scheinbar verschwindend geringen Bestandteil der Atmosphäre ausmacht. 1000 Vol.-Teile der Atmosphäre enthalten nach Hässelbarth und Fittbogen 0,334 Teile Kohlensäure.[a]) In der Nähe des Meeres und nach starken Regengüssen ist der Kohlensäuregehalt beträchtlich niedriger. Nach Fr. Schulze beträgt der Kohlensäuregehalt in Rostock (= 8000 m von der Ostsee entfernt) = 0,292 Vol.-Teile im *l*.[b])

Die Pflanzen vermögen die Kohlensäure trotz der Ver-

dünnung aus der Luft mit großer Energie anzuziehen und zu verarbeiten.

Ein ha mit Hafer besäet ergiebt bei gutem Bestande einen Ertrag von

2320 kg Körnern,
3520 „ Stroh.

Rechnen wir darin ungefähr 15 % Feuchtigkeit und in der Trockensubstanz 50 % Kohlenstoff, so entspricht dies einem Kohlenstoffgehalt in der produzierten Ernte von ~~876 kg~~ pro ha. Nimmt man die Vegetationsdauer des Hafers zu 120 Tagen an, so berechnet sich eine tägliche Kohlenstoffaufnahme von ~~7,3~~ kg oder eine tägliche Verarbeitung von ~~26,7 kg~~ Kohlensäure pro ha. — 1 *l* Kohlensäure wiegt 1,966 gr. Auf einem 1 ha großen Felde, welches mit Hafer bestellt ist, würden demnach an jedem Tag ~~13581~~ *l* Kohlensäure verarbeitet werden müssen, um obigen Ertrag zu liefern. Die täglich verarbeitete Kohlensäure ist jedoch beträchtlich größer, weil wir in obiger Rechnung das Gewicht der Wurzeln, überhaupt der Stoppeln, nicht mit in Rechnung gezogen haben, und weil ferner, um obige Ernte zu erzielen, eine beträchtlich größere Menge Trockensubstanz produziert werden muß, da ein Teil der Trockensubstanz durch Atmung wieder verloren geht. (S. Seite 14.)

Die Aufnahme der Kohlensäure erfolgt lediglich durch die oberirdischen grünen Pflanzenteile, durch die Blätter. Die Möglichkeit ist zwar nicht ausgeschlossen, daß ein Teil der in der Bodenflüssigkeit gelösten Kohlensäure durch die Wurzeln gleichfalls in die Pflanze gelangt; doch ist diese Kohlensäure für den Ernährungsprozeß so gut wie bedeutungslos. Wird der Pflanze die zur Assimilation nötige Kohlensäure nur durch die Wurzel zugeführt, so verhält sie sich gleich, als wenn sie hungert. Moll[c]) hat dies in sehr schönen Versuchen nachgewiesen. Läßt man nämlich die Pflanze unter normaler sonstiger und Kohlensäure-Ernährung vegetieren, so lassen sich mikroskopisch schon nach kurzer Zeit die ersten Produkte der aus den unorganischen Nährstoffen gebildeten orga-

nischen Stoffe nachweisen. Diese finden sich in den grün gefärbten Körnern (Chlorophyll), welchen die Blätter ihre Farbe verdanken. Haben die Pflanzen längere Zeit die Kohlensäure entbehrt, so bestehen die Chlorophyllkörner nur aus eiweißartigen Substanzen; wird ihnen aber Kohlensäure verabreicht, so erzeugen sich nach kurzer Zeit in dem Innern des Korns unter Einwirkung des Sonnenlichtes Stärkekörner. Man weiß, daß diese hier gebildete Stärke das erste Assimilationsprodukt, autochthone Stärke, ist. In den erwähnten Versuchen wies nun Moll nach, daß die Stärke in den Chlorophyllkörnern sich nur dann bildet, wenn die Pflanzen die Kohlensäure durch die Blätter der Atmosphäre direkt entnehmen; wurden die Pflanzen in Verhältnisse gebracht, in welchen die Aufnahme der Kohlensäure nur durch die Wurzeln erfolgen konnte, so unterblieb die Stärkebildung, die Pflanzen litten dann Kohlensäure-Hunger, sie entbehrten das Material, welches sie zum Teil zur Stärkebildung mit verwenden müssen.

Wenn nun die grünen Pflanzenteile die Kohlensäure der Luft entziehen, so muß über den Feldern, die mit einer Vegetationsdecke versehen sind, die Luft kohlensäureärmer werden. Direkte Versuche bestätigen dies. Reiset[a]) fand den Kohlensäuregehalt der Luft in 1000 Vol.-Teilen

	über nacktem Lande (im Mittel von 92 Bestimmungen) zu	0,2942 Vol.-T.
	in jungem, dicht belaubtem Schlagholze, (im Mittel von 27 Bestimmungen) zu	0,2917 „ „
	über einem üppig bestandenen blühenden Rotkleefelde zu	0,2898 „ „
gleichzeitige Bestimmungen	über einem grünen Gerstenfelde zu	0,2829 „ „
gleichzeitige Bestimmungen	über freiem Felde zu .	0,2933 „ „

Da die grünen Pflanzenteile die Kohlensäure, wie erwähnt, nur unter Einwirkung des Lichtes zu verarbeiten vermögen, so folgt hieraus, daß der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre sich nicht allein nach der Anwesenheit von grünen Pflanzen richtet, sondern auch gleichzeitig nach der Tageszeit verschieden ist.

Auch dies beweisen direkte Versuche. 1000 Vol.-T. Luft enthielten

	am Tage:	in der Nacht:
nach Th. de Saussure	0,40	0,43 Vol.-T. Kohlensäure.
„ Boussingault .	0,39	0,42 „ „
„ Truchot	0,35	0,40 „ „

Wasserstoff.

Die Pflanzensubstanz besteht ungefähr zu 10 % aus Wasserstoff. Die ausschließliche Quelle hierfür ist das Wasser (die Sauerstoff-Verbindung des Wasserstoffes). Das Wasser spielt aber in der Pflanze nicht lediglich die Rolle eines Nährstoffs, sondern erfüllt noch andere Funktionen. Bei Verarbeitung des Wassers zu organischen Substanzen geht das Wasser scheinbar ganz verloren; es verschwindet in seiner flüssigen Form, indem es einen wesentlichen Bestandteil der organischen Substanz (Stärke, Zucker, Zellstoff, Holz u. s. w.) ausmacht. In den lebenden Pflanzen finden sich aber immer — z. T. sehr beträchtliche — Mengen von flüssigem Wasser. Die Zellwandungen sind, so lange sie noch lebensfähigen Gewebsteilen angehören, stets mehr oder weniger mit Wasser durchtränkt (Imbibitions-Wasser), ebenso enthält der wichtigste Bestandteil der Pflanzenzelle, das Protoplasma mit seinen Bildungen, Wasser eingeschlossen; verliert das Protoplasma dieses Wasser, so stirbt es. Das Wasser, welches die Zellwände durchdringt und einen Teil des lebenden Protoplasmas ausmacht, wird zweckmäßig als Organisationswasser bezeichnet.

Aus den Untersuchungen von Sachs und Hugo de Vries geht hervor, daß die Zellwände, wenn sie wachsen sollen, zuvor von Wasser durchtränkt sein müssen; die Moleküle der Zellwandungen müssen gleichsam von den Molekülen des Wassers erst auseinander geschoben, gedehnt werden, und später, bei dem Wachsen, werden die Wasser-Moleküle durch neu in die Zwischenräume sich einlagernde Zellstoff-Moleküle ausgewechselt. Die Quellung ist der erste Akt des Wachstums. Je stärker die betreffenden Pflanzenteile wachsen, desto mehr sind ihre Teile vom Wasser durchtränkt; ältere

nicht oder nur noch schwach wachsende Pflanzenteile enthalten kein oder nur wenig derartiges Organisationswasser.

Es ergiebt sich hieraus die hohe Bedeutung des Wassers für die Pflanzen. In einer feuchten Atmosphäre entwickeln sich die Blätter, überhaupt die krautigen Pflanzenteile viel massiger, als in einer trocknen Atmosphäre; in feuchter Luft ist die Verdunstung der Pflanzen gemindert, das in den krautigen Teilen vorhandene Wasser sammelt sich in diesen Organen an, durchdringt deshalb die vegetierenden Teile reichlicher, bewirkt einen hohen Turgor und hierdurch ein gesteigertes Wachstum. Stehen den Pflanzen hingegen zu geringe Mengen von Wasser zur Verfügung, so erfolgt deren Entwickelung und Vegetation zwar wie bei den Pflanzen mit reichlichem Wassergenuß, der Unterschied zwischen beiden liegt aber darin, daß die Durstpflanzen in allen ihren Teilen Zwerge bleiben. Es ist dies zunächst darin begründet, daß die dem Wachstum nach Obigem vorhergehende Quellung nicht oder nicht genügend vor sich gehen kann.

Eine dritte Funktion erfüllt endlich das Wasser im Pflanzenorganismus dadurch, daß es als Lösungs- und Transportmittel dient. Die im Boden vorhandenen Nährstoffe werden, in Wasser gelöst, von den Pflanzen nach den Gesetzen der Diffusion aufgenommen und von der Wurzel bis in die obersten Pflanzenteile weitergeführt. Ein Teil des Wassers verdunstet in den oberirdischen Pflanzenteilen und indem neue Wassermengen das Verdunstende ersetzen, wird die Pflanze in einer gewissen Weise vom Wasser durchströmt. Notwendig für das Leben der Pflanzen ist die Verdunstung des Wassers durch die Blätter und anderen Pflanzenteile nicht, denn Pflanzen, deren Verdunstung nach Möglichkeit künstlich unterdrückt wird, vermögen sich trotzdem normal zu entwickeln, wenn sonst die Verhältnisse günstig sind. Aber doch ist die Verdunstung für die Ernährung der Pflanze von Bedeutung. Mit einer rascheren Transpiration steht eine beschleunigte Aufnahme der mineralischen Nährstoffe aus dem Boden im engsten Zusammenhang. Nach Versuchen,

welche auf Veranlassung von mir O. Ernst ausführte[4]), betrug der Mineralstoffgehalt von in Wasser gezogenen Haferpflanzen:

A. bei künstlich verminderter Verdunstung . 4,4 %
B. „ künstlich gesteigerter Verdunstung . . 11,0 „

Es sei hierzu bemerkt, daß die gesamte, während der Vegetationszeit, durch je eine Pflanze verdunstete Wassermenge betrug:

A. bei künstlich verminderter Verdunstung 218,3 g,
B. „ künstlich gesteigerter Verdunstung . 1852,2 „

Die Aufnahme von mineralischen Nährstoffen ist hiernach zwar nicht mit den aufgenommenen Wassermengen gleich laufend; die Pflanze besitzt vielmehr, wie dies bereits zu Anfang dieses Jahrhunderts durch Th. de Saussure nachgewiesen wurde, ein gewisses Wahlvermögen, so daß bei geringer Wasseraufnahme mehr, bei reichlicher Wasseraufnahme relativ weniger Mineral-Salze aufgenommen werden, als den betreffenden Nährsalzlösungen entspricht; doch ist die Aufnahme absolut um so größer, je mehr Wasser gleichzeitig mit aufgenommen wird. Hieraus folgt, daß bei großer Trockenheit des Bodens die Pflanzen auch ungünstig ernährt werden müssen; denn das Wasser, welches die Pflanzen bei eintretender Trockenheit nur ungenügend durchströmt, kann in Folge dessen auch nur geringere Mengen Nährstoffe in die Pflanzen transportieren. — Nur in Böden, die sehr reich an Pflanzennährstoffen sind, werden sich die Kulturpflanzen in Folge der vorhandenen konzentrierteren Nährstofflösung im Boden noch normal zu ernähren im Stande sein. — Dies stimmt auch mit den Erfahrungen in der Praxis überein. Bekannt ist, daß die Pflanzen auf Ackerböden, die sich in hoher Kultur befinden, von der Trockenheit viel weniger zu leiden haben, als die Pflanzen auf extensiv behandelten Ackerböden.

Zur Aufnahme von Wasser sind nicht blos die Wurzeln befähigt; auch die Blätter und die nicht mit Kork oder entsprechenden Geweben umhüllten Stengelteile vermögen Wasser aufzunehmen. Man beobachtet oft, daß bei anhaltender Trockenheit die vorher schlaffen und welken Pflanzen sich rasch er-

holen und straff (turgescent) werden, wenn nur ein schwacher Regen (oder starker Tau) die Blätter befeuchtet. Es erklärt sich dies daraus, daß die Blätter dieses Regenwasser in geringen Mengen aufzunehmen vermögen. Ursache dieser Turgescenz ist aber gleichzeitig auch, daß die normale Transpiration der Blätter, so lange letztere äußerlich feucht und naß sind, vermindert wird; und während durch Transpiration kein oder nur geringe Mengen Wasser verloren gehen, vermag in dieser Zeit durch weitere Aufnahme von Wasser aus dem Boden, sowie durch Zuströmung aus den anderen Organen nach den welken Blättern hin, die Pflanze ihren früheren Verlust daselbst wieder zu decken. Sehr ergiebig für den Haushalt der Pflanzen ist die Aufnahme von Wasser durch die oberirdischen Pflanzenteile indessen nicht, denn die Pflanzen welken nach solchen anscheinenden Erquickungen sehr bald abermals. Die größte Aufnahme von Wasser erfolgt unzweifelhaft durch die Wurzeln.

Sauerstoff.

Wenn die Pflanzen ihren Kohlenstoff durch Kohlensäure, ihren Wasserstoff durch Wasser decken, so nehmen sie in diesen Verbindungen gleichzeitig Sauerstoff mit auf.

Stellen wir die Kohlen- und Wasserstoff liefernden Nährstoffe in Vergleich mit denjenigen Verbindungen, die im Pflanzenkörper die überwiegende Menge darstellen (Kohlenhydrate, Zellstoff), so ergiebt sich Folgendes: Es bestehen in Atomen ausgedrückt

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff
6 Moleküle Kohlensäure aus	6	—	12
6 „ Wasser „	—	12	6
	6	12	18
die Kohlenhydrate aus	6	12	6
Es restieren somit an Sauerstoff	—	—	12

Hieraus folgt, daß die Pflanzen, sobald sie aus den unorganischen Nährstoffen organische Stoffe producieren, einen

Teil des mit aufgenommenen Sauerstoffes wieder abscheiden müssen. Und dies ist in der That auch der Fall, so daß man sogar die Entwickelung von Sauerstoff aus den (grünen) Pflanzenteilen als das Merkmal für den vorsichgehenden Assimilationsprozeß ansieht. Für je ein Volumen Kohlensäuregas, welches die grünen Pflanzenteile verarbeiten, scheiden sie ein gleiches Volumen Sauerstoffgas wieder ab. Durch Bestimmung der aufgenommenen Kohlensäure und des ausgeschiedenen Sauerstoffes, oder auch nur eines dieser Gase läßt sich auf die größere oder geringere Energie des Assimilationsprozesses schließen.

Aber trotzdem die grünen Pflanzenteile, sobald sie assimilieren, Sauerstoffgas ausscheiden, bedürfen sowohl sie als alle übrigen nicht grün gefärbten Pflanzenorgane zu jeder Zeit des freien Sauerstoffs. Derselbe wird jedoch nicht zur Ernährung verwendet, sondern dient dazu, gewisse Kohlenstoffverbindungen im Pflanzenkörper zu zersetzen und in Kohlensäure überzuführen. Ganz in gleicher Weise wie der Mensch und das Tier Sauerstoff einatmen und Kohlensäure ausatmen, so bedarf auch die Pflanze Sauerstoff, um damit Kohlensäure zu bilden. Man hat diesen Vorgang als die „Pflanzenatmung" bezeichnet. Schließt man die Pflanzen vom Sauerstoffgas ab, so ersticken sie[5].) — Unter gewissen Bodenverhältnissen kann man den „Erstickungstod" der Pflanzen oft genug beobachten. Befinden sich die Wurzeln in Bodenarten, die schwer durchlüftbar sind und in denen der Zutritt des atmosphärischen Sauerstoffs durch stagnierendes Wasser und durch Substanzen, welche selbst den geringen im Wasser gelösten Sauerstoff energisch absorbieren (Eisenoxydul, faulende organische Substanzen u. s. w.) gehemmt wird, so ersticken die Wurzeln und die Pflanze stirbt in Folge dessen ab.

Ein sehr lebhafter Atmungsprozeß findet bei keimenden Samen statt[6]); die starke Wärmeentwickelung, die man beobachtet wenn keimende Samen in größeren Haufen bei einander liegen (Malzbereitung), ist Folge dieser energischen Atmung. Durch die Atmung werden die keimenden Samen ärmer an

gewissen Kohlenhydraten (Stärke, Zucker u. s. w.). Sind die in den Samen vorhandenen Vorräte dieser Verbindungen verbraucht, so können die jungen Pflanzen nicht mehr leben, wenn sie nicht selbst diese Verbindungen neu zu produzieren im Stande sind. (Keimende Samen im Dunkeln.)

Man folgert hieraus, daß bei der Atmung diese Kohlenhydrate (namentlich wahrscheinlich Trauben- oder Krümelzucker) verbraucht werden. — Begünstigt wird die Atmung durch die Gegenwart von eiweißartigen Körpern, denn je reicher die Pflanzenorgane an Eiweißkörpern sind, desto energischer erfolgt bei ihnen die Atmung. Die letztere wird jedoch offenbar nur begünstigt durch diejenigen eiweißartigen Körper, welche als lebensthätiges Plasma funktionieren und in einer fortwährenden Umbildung begriffen sind, nicht aber durch die in Reserve abgelagerten Eiweißkörper. Nur hieraus läßt es sich erklären, warum die ruhenden Samen, den keimenden Samen gegenüber, eine so geringe Atmungsintensität besitzen.

Es ist nun von hohem praktischen Interesse zu erfahren, wie viel bei unsern Kulturpflanzen von den Kohlenhydraten während der ganzen Vegetationszeit durch Atmung verloren geht. Die Kohlenhydrate (z. B. Zucker) dienen in den Pflanzen gleichzeitig auch zum Aufbau der Organe, sie bilden z. B. den Zellstoff der Pflanzengewebe; oder sie werden als Reservestoffe in Form von Stärke, Rohrzucker in den Pflanzengeweben abgelagert. Die zur Atmung verbrauchten Kohlenhydrate gehen also dem Pflanzenorganismus verloren. Je mehr davon durch Atmung verbraucht wird, desto geringere Mengen können zur Organbildung verwendet oder als Reservestoffe (als Stärke, Zucker) in den Körnern, Knollen oder Wurzeln abgelagert werden.

Diese Kenntnis ist um so interessanter, als wir wissen, daß die Atmung unter bestimmten Verhältnissen (z. B. unter verschiedenen Temperaturen) energischer und langsamer verläuft; je nachdem wird also ein größerer oder geringerer Verbrauch von dem organischen Bildungsmaterial (Traubenzucker), welches die Atmung unterhält, stattfinden. In Ge-

meinschaft mit O. Ernst suchte der Verf. die Mengen von Kohlensäure festzustellen, welche die Haferpflanze in ihren verschiedenen Entwickelungsperioden ausatmet.[7]) Der betreffende Versuchshafer war am 27. April 1880 gesäet worden und vegetierte auf einem humosem Sandboden, der eine Düngung von Peru-Guano (mit 7 % Stickstoff und 9,5 % löslicher Phosphorsäure) erhalten hatte.

Die Atmungsgröße wurde an mehreren Durchschnittspflanzen, welche dem betreffenden Felde entnommen wurden, bestimmt und die Untersuchungen nach Verlauf von je 7 Tagen wiederholt. Weiteres enthält die nachstehende Tabelle.

Periode	Datum der Probeentnahme 1880.	Entwickelungszustand der Pflanzen an diesem Tage.	Gewicht an Trockensubstanz von 1000 Pflanzen. Stengel g	Blätter g	Blattscheiden g	Rispen mit Blüten resp. Körnern g	in Summa (ohne Wurzeln) g	Atmungsgröße von 1000 Pflanzen (ohne Wurzeln) in 24 Stunden. 1 ccm
I.	28. Mai	Die ersten 3 Blätter entwickelt, das 4. Blatt noch eingeschlossen. Höhe der Pflanzen 15—20 cm	1,896	26,2	7,1	—	35,2	3,870
II.	4. Juni	4 Bl. sind entfaltet, d. 5. Bl. ist noch gerollt. Höhe d. Pfl. 20—25 cm	3,653	39,2	11,0	—	53,9	3,970
III.	11. „	5 Bl. sind entfaltet, d. 6. Bl. ist noch gerollt. Höhe d. Pfl. 25—30 cm	4,518	62,0	20,2	—	86,7	5,976
IV.	18. „	6 Bl. sind entfaltet, d. 7. Bl. ist gerollt, die 2 unt. Bl. sind abgestorben. Pfl.-Höhe 35—40 cm	33,900	112,6	55,8	—	202,3	6,760
V.	25. „	Die Bl. sind sämtlich (7) entwickelt, die untersten sind abgestorben. Pfl.-Höhe 40—50 cm . .	97,600	146,7	109,3	13,6	367,2	11,230
VI.	2. Juli	Die Rispen sind meistens noch eingeschlossen. Höhe d. Pfl. 50—60 cm	167,100	142,7	122,3	103,0	535,1	12,270
VII.	9. „	Die Rispen sind meist hervorgebrochen, 4 Bl. abgestorben. Höhe d. Pfl. 65—75 cm . . .	309,000	173,2	179,9	220,0	882,1	12,660
VIII.	16. „	Nur die beiden obersten Bl. sind noch grün, die Pfl. blühen. Höhe d. Pfl. 85—105 cm . .	786,000	240,9	278,0	733,0	2037,9	27,330
IX.	23. „	Ende d. Blüte. Höhe d. Pfl. 95—105 cm. Die Pfl. nehmen von jetzt an nicht m. an Länge zu	774,000	239,0	270,1	946,0	2229,1	27,300
X.	30. „	—	820,300	228,0	264,0	1245,0	2557,3	28,000
XI.	6. Aug.	Die Bl. sind meist abgestorben, Stengel u. Blattscheiden an d. unteren Hälfte d. Halme ebenfalls, Rispe noch grünlich	832,000	210,5	232,2	1320,0	2594,7	16,400
XII.	13. „	Die Haferpflanzen sind reif	783,000	185,5	196,5	1460,0	2625,0	9,700
XIII.	26. „	Die Haferpflanzen sind überreif	717,000	150,5	140,9	1610,0	2618,4	7,200

Die betreffenden Atmungsgrößen wurden bei Temperaturen bestimmt, welche nur wenig höher lagen als die mittleren Temperaturen, denen die Haferpflanzen auf dem Felde ausgesetzt waren.

Es wurde beobachtet:

Periode.	Zeit. 1880.	Temperatur des Wassers, in welches die Gefäße m. Pflanzen eingetaucht waren. °C.	Temperaturen während der vorhergehenden Periode.					
			Tages-Mittel °C.	Morgens 8 Uhr °C.	Mittags 2 Uhr °C.	Abends 10 Uhr °C.	Temperatur-Maximum °C.	Temperatur-Minimum °C.
I.	28. Mai	20,0	15,0	14,5	19,0	13,3	33,0	5,5
II.	4. Juni	14,0	13,6	14,9	16,9	11,3	25,2	6,0
III.	11. "	15,0	12,0	12,8	14,9	10,2	24,5	6,0
IV.	18. "	17,0	16,1	16,5	19,6	14,1	25,0	8,0
V.	25. "	17,0	16,4	18,3	22,6	12,3	26,0	6,0
VI.	2. Juli	17,5	17,1	17,6	20,4	14,8	25,2	8,5
VII.	9. "	18,0	16,3	16,9	19,5	14,5	24,5	9,5
VIII.	16. "	20,5	18,8	20,5	23,7	15,4	28,0	10,5
IX.	23. "	18,0	17,9	18,5	22,4	15,4	31,0	9,5
X.	30. "	20,0	17,2	16,3	21,6	15,4	26,5	11,5
XI.	6. Aug.	20,0	15,9	17,4	19,7	13,0	23,0	8,5
XII.	13. "	22,0	17,9	18,1	21,4	15,6	28,0	10,0
XIII.	26. "	21,0	18,2	20,2	23,4	14,6	28,0	8,5

Setzt man voraus, daß die Pflanzen bei dem Versuche in gleicher Weise atmeten als die Pflanzen auf dem Felde und berechnet man die Atmungsgröße in den zwischen den Untersuchungstagen liegenden Zeiten als das Mittel aus der vorhergehenden und nachfolgenden Untersuchung, so beträgt die Atmungsgröße pro 1000 Pflanzen

Periode	In der Zeit	Tage	Mittel pro Tag Liter	in Summa während der Periode Liter
I.	vom 28. April*) bis 27. Mai**) in	30	1,935	58,0
II.	„ 28. Mai „ 3. Juni „	7	3,920	27,4
III.	„ 4. Juni „ 10. „ „	7	4,973	34,8
IV.	„ 11. „ „ 17. „ „	7	6,368	44,6
V.	„ 18. „ „ 24. „ „	7	8,995	63,0
VI.	„ 25. „ „ 1. Juli „	7	11,750	82,3
VII.	„ 2. Juli „ 8. „ „	7	12,465	87,3
VIII.	„ 9. „ „ 15. „ „	7	19,995	140,0
IX.	„ 16. „ „ 22. „ „	7	27,315	191,2
X.	„ 23. „ „ 29. „ „	7	27,650	193,6
XI.	„ 30. „ „ 5. Aug. „	7	22,200	155,4
XII.	„ 6. Aug. „ 12. „ „	7	13,050	91,4
XIII.	„ 13. „ „ 26. „ „	14	8,450	118,3
			in Summa	1287,3

*) Tag der Saat. **) 1. Probeentnahme.

Die mittlere Temperatur, bei welcher die Messungen der obigen Gasvolumina ausgeführt wurden, beträgt 18,5 ° C. Das Gewicht von 1 *l* Kohlensäure bei 18,5 ° C. und 760 mm Barometerstand beträgt 1,8035 g, folglich beläuft sich das Gewicht der ausgeschiedenen Kohlensäure auf 2321,6 g. Hierin sind enthalten 633,2 g Kohlenstoff. Nimmt man an, wie wahrscheinlich, daß dieser Kohlenstoff aus zersetztem Traubenzucker (oder einem entsprechend zusammengesetzten Kohlenhydrat) herrührt, so würde dieser ausgeschiedene Kohlenstoff = 1583 g des organischen Bildungsmaterials entsprechen. — Bedenkt man, daß die gesamte (oberirdische) Trockensubstanz von 1000 Pflanzen nach den vorhergehenden Bestimmungen zur Zeit der Reife nur 2618,4 g wiegt, so ersieht man, welche ungeheure Menge des plastischen Materials der Pflanze durch die Atmung verbraucht wird: sie beträgt reichlich die Hälfte der in der Ernte enthaltenen Trockensubstanz überhaupt. Die Pflanzen müssen also (wenn man die Wurzeln unberücksichtigt läßt) um einen Ernteertrag von 2618,4 g zu liefern, im Ganzen 2618,4 + 1583 g = 4201,4 g Substanz produzieren.

Die Atmung der Pflanzen verläuft je nach den obwal-

tenden Verhältnissen mit ungleicher Energie. Es wurde bereits oben darauf hingewiesen, daß die Atmung bei höherem Vegetations-Eiweiß eine intensivere ist; namentlich ist dieselbe aber auch noch von der Wärme abhängig; bei niedriger Temperatur ist die Atmung gering, bei höherer größer. Für die Verschiedenheit der Atmung der Haferpflanze bei den verschiedenen Temperaturen werden späterhin noch die betreffenden Zahlen mitgeteilt werden. —

Die Aufgabe, welche dem Landwirt für die nötige Sauerstoffzufuhr entgegentritt, beruht lediglich in der Sorge, daß alle Teile der Pflanzen und namentlich die Wurzeln eine genügende Menge Sauerstoff erhalten können, daß also das umgebende Medium für Luft durchdringbar ist. Der Widerstand, den die Bodenarten der Durchlüftung entgegensetzen, ist hauptsächlich durch ihre physikalische Beschaffenheit bedingt, und werden wir die einschlagenden Verhältnisse später noch genauer erörtern.

Stickstoff.

Die Frage über die Form, in welcher der Stickstoff von den Pflanzen aufgenommen wird, ist deshalb eine sehr interessante, weil darüber lange Zeit hindurch ein heftiger Streit geführt wurde. Die Atmosphäre besteht zum größten Teile aus (unverbundenem, freiem) Stickstoff. Würden die Pflanzen im Stande sein, diesen — gleich wie den freien atmosphärischen Sauerstoff — ihren Bedürfnissen entsprechend aufzunehmen und in organische Verbindungen überzuführen, so wäre dies von unendlichem Vorteil, denn der Landwirt wäre dann der Sorge überhoben, dem Boden im Dünger teuere Stickstoffverbindungen zuzuführen. Die Pflanzen vermögen aber den ungebundenen atmosphärischen Stickstoff nicht zu benutzen; sie sterben an Stickstoff-Hunger, wenn man sie unter Verhältnisse bringt, unter welchen sie zwar alle übrigen Nahrungsmittel, aber als Stickstoff-Nahrung nur das elementare Gas erhalten. In entscheidender Weise wurde der Beweis hierfür von Boussingault[e]) erbracht.

Es fragt sich nun, welche Stickstoffverbindungen von den Pflanzen als Nahrungsmittel benutzt werden können.

Der lebhafte Aufschwung, den vor 20 Jahren die Fabrikation und der Handel mit künstlichen Düngemitteln nahmen, hatte gleichzeitig die Anpreisung der verschiedenen Düngestoffe und namentlich der verschiedenartigsten Stickstoff-Düngemittel im Gefolge. Die Händler hatten ein Interesse daran nachzuweisen, daß der Stickstoff in den von ihnen vertriebenen Düngemitteln von besonderem Wert für die Pflanzenernährung sei. Ja man ging sogar soweit, daß man die Landwirte zu dem Glauben zu bringen suchte, daß ebenso wie der Mensch unter seinen Nahrungsmitteln wohlschmeckende und weniger angenehm schmeckende unterscheidet, so auch die Pflanze eine gewisse Vorliebe für bestimmte Stickstoffnahrungsmittel zeige. — Von den Agrikulturchemikern wurde eine große Reihe von stickstoffhaltigen Substanzen auf ihr Vermögen, die Pflanzen mit Stickstoff zu versehen, geprüft. Diese vielseitigen und umfassenden Versuche lassen es als höchst wahrscheinlich erscheinen, daß als Stickstoffnahrung nur eine Stickstoffverbindung angesehen werden muß, daß also bei der Stickstoffernährung höchst einfache Verhältnisse herrschen. Nachstehend referieren wir kurz über die Ergebnisse der wichtigsten Versuche. Dieselben haben folgendes gelehrt:

Der Harnstoff (CH^4N^2O), ein Bestandteil des Harns der Säugetiere, wird als solcher von den Pflanzen direkt aufgenommen (Hampe). In einem Falle (in den Versuchen Hampe's vom Jahre 1867) wurde auch eine normale Entwickelung der Maispflanzen beobachtet, wenn als Stickstoffverbindung nur Harnstoff gegeben worden war. Bei anderen Versuchsanstellern (Knop und Wolf) gingen aber die Pflanzen unter solchen Verhältnissen zu Grunde, oder sie entwickelten sich erst dann, wenn sich der Harnstoff nachweisbar in Ammoniak und Salpetersäure umgesetzt hatte (Beyer, Versuche mit Hafer).

Die Hippursäure, ein Körper, der zuerst in dem Pferdeharn entdeckt wurde, hat die Zusammensetzung

$C^9H^9NO^3$. Sie konnte den Pflanzen bei verschiedenen Versuchen niemals als Stickstoffnahrung dienen. Künstlich kann man die Hippursäure durch Erhitzen mit konzentrierter Salzsäure oder Schwefelsäure spalten, wobei sich (unter Wasseraufnahme) Benzoesäure und Glykokoll (Glyzin, Leimzucker oder Leimsüß) bilden. In gleicher Weise zersetzt sich nun auch die Hippursäure unter Einwirkung der Pflanzen. Vegetierten Maispflanzen in Hippursäure, so fand sich nach 6—8 Tagen Benzoesäure in der Nährflüssigkeit (Hampe). Hampe hält es deshalb für wahrscheinlich, daß die Hippursäure unzersetzt in die Pflanze eingeht und in der Pflanze eine Spaltung in Benzoesäure und Glyzin erleidet; letzteres würde verbraucht, die Benzoesäure aber als unbrauchbar wieder ausgeschieden. Aus direkten Versuchen, bei welchen Glyzin allein gegeben war, folgert sodann Hampe, daß Glyzin ein vollkommen ausreichendes Stickstoffnährmittel sei (obgleich eine ganz geringe Bildung von Ammoniak aus dem Glyzin bei diesen Versuchen nachgewiesen wurde). Beyer vermochte ebenfalls Pflanzen mit Hippursäure, die sich in Benzoesäure und Glyzin umgesetzt hatte, bis zur Samenreife zu erziehen (Hafer); doch beobachtete er in einem Falle ebenfalls Ammoniak- und Salpetersäurebildung.

Harnsäure ($C^5H^4N^4O^3$) findet sich vorzüglich in dem Kothe der Vögel (im Guano), in den flüssigen Exkreten der Amphibien, Schnecken und Insekten, sowie auch in geringer Menge (1 pro Mille) im Harn des Menschen. Die Pflanzen, denen Harnsäure als Stickstoff-Nahrung gegeben worden war, entwickelten sich zwar beträchtlich, sie brachten aber nie Samen hervor und außerdem hatte sich bei diesen Versuchen die Harnsäure vollständig zersetzt (Hampe). Es brauchte also nicht die Harnsäure, sondern es konnten die Zersetzungsprodukte derselben zur Ernährung gedient haben.

Tyrosin ($C^9H^{11}NO^3$). Mit diesem stickstoffhaltigen Körper stellte W. Wolf Versuche an, aus welchen er schließt, daß Tyrosin von den Pflanzen nicht aufgenommen wird.

Kreatin ($C^4H^9N^3O^2$) lieferte P. Wagner Mais-

pflanzen von einem Trockensubstanzgehalt bis zu 28,7 g. In der Pflanze ließ sich kein Kreatin nachweisen und hält Wagner es für wahrscheinlich, daß dasselbe, gleichwie Harnstoff, als Stickstoff-Nahrungsmittel dienen könne.

Noch eine Reihe anderer organischer stickstoffhaltiger Körper wurde auf ihre Fähigkeit geprüft, von den Pflanzen aufgenommen und verarbeitet werden zu können. Aber keine Verbindung schien hierzu geeignet. —

In der Natur finden sich nun die anderweitigen Stickstoffverbindungen, Ammoniak und Salpetersäure, zwar nicht in großen Massen, aber doch in großer Verbreitung. Die Atmosphäre enthält stets kleine Mengen von Ammoniak und Salpetersäure und das Regenwasser führt einen Teil davon aus der Atmosphäre zu Boden. Es fragt sich nun, ob diese Stickstoffverbindungen von den Pflanzen als Nährmittel benutzt werden können. Früher nahm man dieses für beide der genannten Stickstoffverbindungen an; denn bei Felddüngungsversuchen, bei welchen man das schwefelsaure Ammoniak als Stickstoff-Düngemittel verwendete, hatte man ganz den gleichen Erfolg, wie bei Salpeterdüngungen: Stickstoff bedürftige Felder steigerten durch Ammoniakdüngung ihre Erträge beträchtlich. Durch Felddüngungsversuche kann aber eine solche Frage nicht beantwortet werden, weil wir wissen, daß das Ammoniak in dem porösen Boden, besonders bei Gegenwart von Kalk, sehr rasch in Salpetersäure übergeführt wird. Es bleibt also hier unentschieden, ob von den Pflanzen das Ammoniak oder die Salpetersäure assimiliert wird. Entscheidende Versuche konnten in dieser Frage erst ausgeführt werden, als man dahin gelangt war, unsere Kulturpflanzen von der Keimung bis zur Samenreife in Wasser zu erziehen, dem man die betreffenden Nährsalze künstlich zugesetzt hatte. Hierbei hatte man es in der Hand, die ammoniakhaltigen Nährstofflösungen möglichst oft zu erneuern und dadurch eine Salpeterbildung zu verhüten. Die Versuche von Knop (1861 und 1862), Nobbe und Siegert (1862) ergaben nun bereits, daß die Pflanzen (Gräser, Mais, Buchweizen) wenigstens das Ammoniak entbehren konnten, denn

die betreffenden Pflanzen wuchsen normal, wenn ihnen nur salpetersaure Verbindungen zur Verfügung gestanden hatten. — Die Versuche von Rautenberg und G. Kühn (1864), Hellriegel (1866), Birner und Lucanus (1866) und Beyer (1867) ergaben aber unzweifelhaft, daß die meisten unserer Kulturpflanzen das Ammoniak nicht zu verarbeiten vermögen, sondern nur die Salpetersäure. Besonders instruktiv waren die Versuche von Beyer mit Hafer, deren Verlauf ich selbst zu verfolgen Gelegenheit hatte. Die jungen Pflanzen, denen als Stickstoffnahrung in den letzt erwähnten Versuchen nur Ammoniak zur Verfügung stand, kümmerten und blieben zurück, gleich wie Pflanzen, denen es an Stickstoffnahrung überhaupt gebrach; nach einiger Zeit stellte sich aber plötzlich eine lebhafte Vegetation ein und die Pflanzen entwickelten sich zu kräftigen Exemplaren. Die Untersuchung der Nährstofflösung zu der Zeit, als diese günstige Veränderungen stattfand, ergab eine Salpeterbildung auf Kosten des gegebenen Ammoniaks in der Lösung. —

Überblicken wir alle diese Versuche, welche über die Stickstoffernährung der Pflanzen angestellt wurden, so läßt sich zwar nicht in Abrede stellen, daß gewisse organische stickstoffhaltige Verbindungen von den Pflanzen aufgenommen werden. (Harnstoff.) Der Eintritt in die Pflanzen ist aber an sich noch kein Beweis, daß diese Stoffe auch als Nährstoffe wirklich verwendet werden; es beweist nur die Diffusionsfähigkeit der betreffenden Verbindungen durch die Gewebe der Pflanzen. Diese Körper könnten also von den Pflanzen in eben derselben Weise aufgenommen werden, wie z. B. das Natron, die Kieselsäure, das Mangan, ohne doch irgend welche Bedeutung für das Leben der Pflanzen beanspruchen zu können. Es ist ferner zwar in einzelnen Fällen gelungen, Pflanzen bis zur Reife zu bringen, welche nur durch Stickstoff in organischer Verbindung ernährt wurden (Harnstoff, Glyzin, Kreatin). Wollte man aber daraus schließen, daß deshalb die Pflanzen diese Körper direkt verarbeitet hätten, so würde dies insofern gewagt erscheinen, als alle die stickstoffhaltigen Verbindungen, welche zu den Ver-

suchen benutzt wurden, sich sehr leicht zersetzen und schließlich in Salpetersäure übergehen. Der Einwand, daß bei den betreffenden Versuchen eine Salpeterbildung deshalb nicht stattgefunden habe, weil die Lösungen auf Salpetersäure (und Ammoniak) geprüft und die Abwesenheit derselben konstatirt worden sei, ist in dem vorliegenden Falle nicht maßgebend, weil die Salpetersäurebildung nur in ganz geringen Mengen stattgefunden haben kann, und die geringen Salpetersäuremengen sofort von den Pflanzen den Lösungen entzogen und verarbeitet worden sein können. Die Pflanzen besitzen das Vermögen, die Lösungen an einzelnen Nährstoffen gänzlich zu erschöpfen. Auf diese Weise wird also die Pflanze wachsen, scheinbar auf Kosten des organischen stickstoffhaltigen Stoffes, in Wirklichkeit aber auf Kosten der geringen gebildeten Salpetersäuremengen.

Hiernach würde mit Sicherheit nur die Salpetersäure in ihren Verbindungen als das stickstoffliefernde Nährmittel bezeichnet werden können. Diese Überzeugung wird sich auch allen denjenigen aufdrängen, welche vergleichsweise Versuche anstellen. Wird der Pflanze eine andere Stickstoffnahrung zur Verfügung gestellt als Salpeter, wird ferner dafür gesorgt, daß eine Salpeterbildung aus den betreffenden Stickstoffnährkörpern verhütet oder wenigstens erschwert wird, so beobachtet man stets, wie die Pflanzen, welche nicht durch Salpeter ernährt werden, in ihrem Wachstum zurückbleiben und kümmern, während die Salpeterpflanzen kräftig wuchernd ihre Vegetationsorgane entfalten. —

Für die Praxis hat die Thatsache, daß Salpeter allein das Stickstoffnährmittel bildet, hohe Bedeutung. Es bleibt deshalb selbstverständlich nicht ausgeschlossen, daß auch mit andern Stickstoffmaterialien mit Erfolg gedüngt werden kann (Ammoniak, Blut, Horn, Leim, unzersetztes Eiweiß im Stalldünger u. s. w.), denn diese Körper faulen, oxydiren sich und bilden schließlich ebenfalls Salpetersäure. Je rascher aber die Salpetersäurebildung erfolgt, desto vorteilhafter sind sie für die Pflanzenernährung und auch für den Wert des Düngers.

Alle die Verhältnisse, welche für die Salpeterbildung vorteilhaft sind, werden also auch indirekt für die Ernährung der Pflanzen von Vorteil sein. (Gute Durchlüftung des Bodens, mäßiger Feuchtigkeitsgehalt desselben, hohe Erwärmungsfähigkeit, Anwesenheit von Kalk.)

Phosphor und Schwefel.

Beide Elemente werden von den Pflanzen als phosphorsaure und schwefelsaure Salze aufgenommen, und zwar als Kalium-, Natrium-, Magnesium-, Calcium- oder als Eisen-Salze.

Das Chlor

kann in Verbindung mit Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium oder Eisen von den Pflanzen aufgenommen und verarbeitet werden.

Kalium, Calcium, Magnesium und Eisen

werden in Verbindung mit Chlor oder als schwefelsaure, phosphorsaure, salpetersaure oder als kieselsaure Salze (soweit ihre Schwerlöslichkeit kein Hindernis ist) von den Pflanzen aufgenommen und verarbeitet.

---

2. Die natürlichen Quellen für die Pflanzennährstoffe.

Wenn wir in dem vorhergehenden Kapitel die Verbindungsformen kennen gelernt haben, in welchen die Pflanzen die betreffenden ernährenden Elemente aufzunehmen und zu verarbeiten im Stande sind, so interessiert uns nun weiter die Frage, woher die Pflanzen unter den natürlichen Verhältnissen ihren Nährstoffbedarf schöpfen.

Die Kohlensäure.

Die Kohlensäure macht zwar, wie wir bereits gesehen haben, nur einen geringen Bruchteil der Atmosphäre aus,

trotzdem ist aber schon die momentan vorhandene Menge für viele Jahrhunderte hinaus unerschöpflich; außerdem werden der Luft durch ununterbrochen vor sich gehende Oxydationsprozesse — Verwesung, Verbrennung kohlenstoffhaltiger Substanzen, Atmung, — neue Kohlensäurenmengen zugeführt. Seit der Zeit, wo wir durch genaue Methode der Gasanalyse die Zusammensetzung der Luft prüfen können, hat sich dieselbe nicht wesentlich verändert, — Sauerstoff- und Stickstoffgehalt sind annähernd dieselben geblieben. Daraus folgt indirekt, daß gegenwärtig auch die Kohlensäurebildung (durch Oxydationsvorgänge) und die Kohlensäurezersetzung (durch die Thätigkeit der Pflanzen) einander das Gleichgewicht halten. Würde die Luft allmählich an Kohlensäure ärmer werden, so müßte sich der Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre steigern; würde sie kohlensäurereicher werden, so müßte der Sauerstoffgehalt sich mindern. Beides ist nicht der Fall; nur die Kohlensäure schwankt je nach lokalen Verhältnissen.[8]) Für den Nährstoff, der bei weitem in größter Masse verbraucht wird, die Kohlensäure, stehen daher den Pflanzen kontinuierlich fließende und unerschöpfliche Quellen zur Verfügung.

Das Wasser.

Das Wasser bezieht die Pflanze ebenfalls zum weitaus größten Teile aus der Atmosphäre, aus welcher es dem Boden durch Regen, Schnee, Tau rc. zugeführt wird. In besonderen Fällen wird den Pflanzen ein Teil des nötigen Wassers aus dem „Grundwasser" zugeführt werden. Sind nämlich die tieferen Schichten des Bodens wasserführend, so wird ein Teil des Wassers kapillar gehoben und kann in die Schichten des Bodens gelangen, welche von den Pflanzenwurzeln durchzogen werden. Man legt in der Praxis einen großen Wert auf das Untergrundwasser, gewiß aber mit Unrecht. Es wird nur wenige Fälle geben, wo das Untergrundwasser wirklich *in günstiger* Weise die Pflanzen mit Feuchtigkeit versorgt. Man schätzt gewöhnlich ganz irr-

tümlich, daß das Wasser im Boden kapillar ziemlich hoch steigen könne. Direkte Versuche beweisen, daß die kapillare Hubhöhe des Wassers im Boden selbst unter den günstigsten Verhältnissen eine sehr geringe ist. Eigene Beobachtungen des Verfassers zeigten, daß bei Prüfung der verschiedensten Bodenarten eine Hubhöhe von 75 cm nicht erreicht wurde, selbst wenn die Bodensäulen Monate lang im Wasser standen. Die größte Höhe, bis zu welcher das Wasser kapillar stieg, betrug nur 68 cm.

In praktischer Beziehung interessiert uns die Frage, ob das sämtliche im Boden vorhandene Wasser von den Pflanzenwurzeln dem Boden entzogen werden kann.

Zunächst ist darauf hinzuweisen, daß die im Übermaß im Boden vorhandenen Wassermengen, welche den Boden als naß und kalt charakterisieren, den Pflanzen direkt nicht nachteilig sind; die meisten unserer Kulturpflanzen können sogar, wie dies bei den „Wasser-Kultur-Versuchen" der Fall ist, mit ihren Wurzeln gänzlich im Wasser stehen, ohne daß sie dabei Schaden leiden. Unter diesen künstlichen Verhältnissen enthält die Nährstoffflüssigkeit, in welcher die Wurzeln stehen, soviel atmosphärischen Sauerstoff gelöst, daß die Wurzeln eine normale Atmung unterhalten können. Die hierbei entwickelte Kohlensäure läßt sich in dem Wasser nachweisen. — In dem natürlichen Boden aber liegen die Verhältnisse anders. Derselbe ist gewöhnlich mit faulenden organischen Substanzen, oder mit unorganischen (Eisenoxydul-) Verbindungen gemengt, welche den im Wasser gelösten Sauerstoff sehr begierig absorbieren. Die Pflanzenwurzeln würden sich also bei vollständiger Sättigung des Bodens mit Wasser in einem sauerstofffreien Medium befinden, in welchem sie nicht existieren können; nur hierdurch (wegen der Sauerstoff abschließenden Wirkung) ist das stauende Wasser, welches alle Kapillaren des Bodens ausfüllt, für die Pflanzen nachteilig. Der für Pflanzen günstige Wassergehalt im Boden wird also derjenige sein, bei welchem das Wasser die Bodenräume nicht vollständig erfüllt, sondern noch genügende Zwischenräume läßt, in

welchen die atmosphärische Luft mit möglichster Leichtigkeit zirkulieren kann. Der für das Pflanzenwachstum günstigste Feuchtigkeitsgehalt ergab sich bei Versuchen des Verfassers zu 60 % der wasserfassenden Kraft des Bodens. Die Versuche wurden mit einem Torfboden ausgeführt, von welchem 100 g Trockensubstanz 235 g Wasser aufzunehmen vermochten. Diese Erde wurde in Blumentöpfe gefüllt, welche 2000 g Trockensubstanz des Torfes aufzunehmen vermochten. Besäet wurden die Versuchsgefäße mit einem Grasgemisch. Während eines ganzen Sommers hindurch wurden die Gefäße täglich mit so viel Wasser begossen, daß die Feuchtigkeit der Erde stets 10, 20—100 % der wasserhaltenden Kraft betrug. —

Neben den Versuchen in Blumentöpfen waren gleichzeitig korrespondierende Versuche in Glashäfen angestellt worden, die ganz gleichmäßige Behandlung erfuhren. Das Ergebniß der im August erfolgten Ernte der Gräser ergab folgende durchschnittlichen Erträge an lufttrockener Substanz:

Gefäß	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
Der Wassergehalt des Torfbodens betrug (in % der Kapazität)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100 %
Ertrag an lufttrockenen Gräsern . .	0,00	0,20	0,50	1,80	8,48	15,91	13,1	13,2	13,8	8,1 g

Bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 10 % vermochte sich gar keine Pflanze zu entwickeln, der aufgestreute Samen keimte überhaupt nicht; bei 60 % Feuchtigkeit war der Ertrag am besten; bei voller Sättigung mit Wasser nahm der Ertrag aber wieder ab. Diese Versuche entsprechen in ihren Ergebnissen den Resultaten der Hellriegel'schen Versuche. Hellriegel[1]) stellte Versuche mit Gerste in Quarzsand an. Das Ergebnis war folgendes:

Geerntete Trockensubstanz	Die Bodenfeuchtigkeit betrug in % der wasserhaltenden Kraft:						
	5	10	20	30	40	60	80 %
an Körnern	—	3,3	7,7	8,8	10,5	10,0	8,8 g
in Summa	0,1	6,3	14,6	17,2	21,8	22,8	19,7 „

Erreicht sonach der Wassergehalt in dem Boden mehr als 60 % von derjenigen Menge, welche er, wenn er voll gesättigt ist, überhaupt fest zu halten vermag (Wasser-Kapazität des Bodens), so leidet die Pflanze darunter und geht in ihrer Produktionsfähigkeit zurück.

Auf der andern Seite aber wird die Vegetation der Pflanze geschädigt, wenn die Feuchtigkeit des Bodens gering ist. In letzterer Beziehung verhalten sich die einzelnen Bodenarten verschiedenartig gegen die Pflanzen, d. h. sie geben leichter oder schwieriger das Bodenwasser an die Pflanzen ab. Der Sandboden läßt bei einer Bodenfeuchtigkeit, welche 10 % der Wasser-Kapazität ausmacht, noch eine gewisse Vegetation zu, in dem Torfboden dagegen gelangt, wie wir gesehen haben, bei derselben (relativen) Bodenfeuchtigkeit, kein Samenkorn zur Keimung.

Setzt man bei höheren Temperaturen (100 ° C.) gänzlich ausgetrocknete Erde wieder der Luft aus, so hat sie nach kurzer Zeit schon ihr Gewicht vergrößert, indem sie Wasser aus der umgebenden Luft anzieht. Man nennt diese Fähigkeit der Bodenarten, in ihren Poren gasförmiges Wasser aus der Luft zu verdichten, ihre Hygroskopizität. Diese letztere Eigenschaft ist ebenfalls verschieden, je nach der Bodenart. Es vermochten in feuchter Luft 100 g Trockensubstanz der nachstehenden Bodenarten an gasförmigem Wasser aufzunehmen und zu verdichten:

Grobkörniger Sandboden	1,15	T. Wasser
Sandige Gartenerde	3,0	„ „
Feinkörniger etwas humoser Sandboden .	3,98	„ „
Sandiger Lehmboden	5,74	„ „
Fruchtbarer Kalkboden	5,2	„ „
Torfboden	42,3	„ „

Früher hat man geglaubt der Hygroskopizität der Bodenarten eine große Bedeutung bei der Wasserversorgung für die Pflanzen zuschreiben zu können; die große Wassermenge, welche beispielsweise von humosen Bodenarten aus der Luft verdichtet werden, sollten die Pflanzenwurzeln wieder

dem Boden entziehen und nutzen können; daß diese Eigenschaft, wenn sie wirklich vorhanden wäre, ungemein günstig für die Vegetation wirken müßte, liegt auf der Hand. Direkte Versuche jedoch, welche in dieser Frage von mir,[g]) ferner von Ad. Meyer[h]) und Anderen angestellt wurden, zeigten die Irrigkeit dieser Ansicht; die Pflanzen vermögen das hygroskopisch gebundene Wasser dem Boden durch ihre Wurzeln nicht zu entziehen; setzt man nach meinen Versuchen den Wassergehalt des Bodens, bei welchem die Pflanzen bereits zu welken beginnen = 1, so vermag sich der Boden nur ungefähr $^3/_4$ dieses Wassers durch seine Hygroskopizität aus der Luft anzueignen. Das hygroskopisch gebundene Wasser wird also viel zu energisch vom Boden festgehalten, als daß es in die Pflanzenwurzeln eindringen könnte.

Einen anschaulichen Einblick in diese Verhältnisse gewähren die nachstehenden von mir gefundenen Zahlen:

	100 T. trockner Boden absorbieren höchstens Teile Wasser:	Die Pflanzen welkten, als 100 T. trockne Erde folgende Mengen Wasser festhielten:
grobkörniger Sandboden	1,15	1,5
sandige Gartenerde . .	3,00	4,6
feinkörniger Sandboden	3,98	6,2
sandiger Lehm . . .	5,74	7,8
Kalkboden	5,20	8,9
Torfboden	42,3	49,7

Die wenigen Fälle ausgenommen, in welchen die Ackerkrume durch kapillares Aufsteigen des Wassers Feuchtigkeit aus den tieferen Bodenschichten erhält, muß also das sämtliche Wasser für die Pflanzen aus der Atmosphäre in tropfbar flüssiger Form dem Boden zugeführt werden, da die in Folge der Hygroskopizität gebundene Wassermenge im Boden für die Pflanze nicht nutzbar ist. —

Der Regenfall während der Vegetationszeit ist sehr ungleichmäßig verteilt; es wird zeitweise Wasser im Über-

fluß dem Boden zugeführt, während zu anderen Zeiten daran Mangel herrscht. Es liegt nicht in der Hand des Landwirts diese Ungleichmäßigkeiten zu ändern, wohl aber sind ihm Mittel in die Hand gegeben, den nachteiligen Einflüssen, welche solche ungleichmäßige Regenverteilung auf die Vegetation äußern, zu begegnen. Durch zweckmäßige Melioration muß der Landwirt das Reservoir für Wasser, die Ackerkrume, derart erweitern, daß es starke Niederschläge mit Leichtigkeit aufzunehmen und zurückzuhalten vermag, um sie dann bei Bedarf den Pflanzen wieder abgeben zu können. Einzelne Bodenarten genügen durch ihre natürliche Beschaffenheit den weitgehendsten Ansprüchen, die man in dieser Beziehung stellen kann. Bei andern hat es der intelligente Landwirt in der Hand, sich von den ungünstigen Witterungsverhältnissen zum Teil wenigstens unabhängig zu machen. Wir kommen auf diesen Gegenstand wieder zurück bei dem Kapitel von den physikalischen Eigenschaften des Bodens.

Der Sauerstoff.

Der Sauerstoff wird, wie wir Seite 13 ff. gesehen haben, aus der Atmosphäre durch alle Teile der Pflanze aufgenommen und zum Teil zur Atmung, zum Teil direkt als Nährmittel verwendet.

Der Sauerstoff steht den Pflanzen in unerschöpflicher Menge zur Verfügung. Schmidt[1]) berechnet die Menge Sauerstoff, welche die Atmosphäre enthält, zu 1 775 793 000 000 000 000 kg.

Die Salpetersäure.

Der Stickstoff aller verwesenden organischen Körper geht schließlich in Salpetersäure über. In dem Ackerboden, welcher immer in Verwesung begriffene Substanzen enthält, findet daher eine stetige (nur durch die geringe Temperatur des Winters unterbrochene) Salpeterbildung statt. Der Stalldünger, das Blutmehl, Hornmehl, Knochenmehl, das Ammoniak u. s. w. zersetzen sich im Boden und bilden Salpeter,

säure, welche letztere dann die Pflanzen erst assimilieren. Dem Ackerboden führen wir die genannten Düngemittel künstlich zu. In den Waldungen erfolgt eine solche Zufuhr nicht; die Waldpflanzen bedürfen aber der Stickstoffnahrung ebenso wie die Kulturpflanzen. Woher beziehen die Waldbäume wie die Waldpflanzen überhaupt die ihnen nötige Stickstoffnahrung?

Die Salpetermengen, welche der Wald, die nicht gedüngten Wiesen und die wildwachsenden Pflanzen empfangen, verdanken ihre Bildung zum Teil den elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre. Bei jedem Gewitter werden kleine Mengen von Salpetersäure gebildet, welche dann durch Regen dem Boden zugeführt werden. Die Bildung von Salpetersäure erfolgt hier aus ihren Elementarbestandteilen, dem Stickstoff- und Sauerstoffgas; die elektrische Entladung ist bisher das einzigste Mittel, um Salpetersäure direkt aus ihren Bestandteilen zu erzeugen. Ein anderer Teil der Salpetersäure, welche die Atmosphäre enthält, verdankt aber ihre Bildung dem vorhandenen kohlensauren Ammoniak. Die bei der Fäulnis organischer Materien sich entwickelnden Ammoniakmengen nimmt die Atmosphäre auf, soweit sie nicht von dem Erdboden festgehalten werden. Auch das Meerwasser enthält geringe Mengen von Ammoniak gelöst und wird unter Umständen einen Teil in die Atmosphäre entlassen. Zu allen Jahreszeiten läßt sich Ammoniak in der Atmosphäre nachweisen. Dieses Ammoniak der Luft wird ebenfalls oxydiert und zu Salpetersäure umgewandelt. Just. v. Liebig nahm an, daß die Stickstoffverbindungen der Atmosphäre (Ammoniak und Salpetersäure) ausreichen, um den Ackerboden mit genügender Stickstoffnahrung zu versorgen. Aus dieser Veranlassung sind zahlreiche Bestimmungen des Ammoniak- und Salpetersäuregehaltes in dem Regenwasser und Schnee ausgeführt worden, um zu erfahren, wie groß die Mengen der Stickstoffverbindungen sind, welche dem Boden aus der Atmosphäre zugeführt werden. Nach Bretschneider[k]) betrug der durchschnittliche Gehalt der fallenden meteo-

rischen Wassermengen an Stickstoff (in Form von Ammoniak und Salpetersäure) in den Jahren 1866—1877 im Mittel

	pro *l*	für die Fläche eines ha berechnet.
Januar	2,208 mg	0,554 kg
Februar	2,424 „	0,698 „
März	2,257 „	0,926 „
April	2,061 „	1,093 „
Mai	1,940 „	1,413 „
Juni	1,959 „	1,222 „
Juli	1,876 „	1,516 „
August	1,742 „	1,175 „
September . . .	1,699 „	0,557 „
Oktober	1,825 „	0,605 „
November . . .	1,841 „	0,739 „
Dezember	1,683 „	0,626 „
Mittel	1,959 mg,	in Sa. 11,122 kg

Jul. Schröter hat nun berechnet, daß die anspruchslosen Waldbäume mit den ihnen durch die Niederschläge zugeführten Stickstoffmengen ausreichen und damit normal vegetieren können. Diese Möglichkeit ist besonders dadurch bedingt, daß die Waldbäume mit der ihnen so knapp bemessenen Stickstoffnahrung äußerst haushälterisch verfahren; die Blätter, die Borke werden, bevor sie abgeworfen, an den Stickstoffverbindungen (ebenso wie an Kali und anderen mineralischen Nährstoffen) fast vollständig erschöpft. Die abgefallenen Teile, welche sodann die Humusdecke bilden, verwesen späterhin und können daher auch die geringen in den Blättern, in den Nadeln, in der abgeworfenen Borke u. s. w. verbleibenden Reste von Neuem wieder durch die Pflanzenwurzel aufgenommen werden. Auch das Holzgerüst des Baumstammes, soweit es dem Lebensprozeß nicht mehr dient, wird an den genannten Nährstoffen fast erschöpft; die Stickstoffverbindungen (und auch das Kali, die Phosphorsäure, an welchen die armen Waldböden meistens ebenfalls Mangel leiden) wandern nach den jugendlichen Organen hin, wo sie wieder in Thätigkeit gesetzt werden. — Hierdurch

wird es möglich, daß die so äußerst geringen Mengen der atmosphärischen Stickstoffverbindungen hinreichen, um die Waldvegetation zu fördern; es findet hier sogar (wenn die Streu im Walde verbleibt) eine Ansammlung dieser Stickstoffverbindungen im Laufe der Jahre statt. Anders verhalten sich aber unsere Kulturpflanzen; diese sind anspruchsvoller und bedürfen einer reichlicheren Stickstoffnahrung. Nach Graf zur Lippe[1]) bedarf die Ernte von einem Hektar

Raps	55-- 94	kg Stickstoff,
Winterweizen	43— 74	„ „
Winterroggen	37— 60	„ „
Gerste	25— 43	„ „
Hafer	34— 66	„ „
Erbsen	88—110	„ „
Lupinen	173—207	„ „
Kartoffeln	49— 73	„ „
Runkeln	90—119	„ „
Rotklee, grün, ...	96--192	„ „
Rotkleeheu, ...	154	„ „
Wiesenheu u. Grummet .	71	„ „

Da diese Mengen den Feldern alljährlich entzogen werden, so ist es einleuchtend, daß die durch die atmosphärischen Niederschläge dem Boden zugeführten Stickstoffverbindungen nicht ausreichen, um befriedigende Ernten vom Boden zu erzielen.

Der Boden empfängt jedoch die Stickstoffverbindungen aus der Luft nicht lediglich durch die atmosphärischen Niederschläge. Nur die Salpetersäure in ihrer Verbindung wird durch Regen vollständig aus der Atmosphäre entfernt, nicht aber das Ammoniak. Selbst aus einer wässerigen Lösung entweicht soviel Ammoniak in die umgebende ammoniakfreie Luft, bis die der Temperatur entsprechende Tension des Ammoniaks in der Luft erreicht ist. Aus diesem Grunde wird das Ammoniak der Atmosphäre nur z. T. von den niederfallenden Regentropfen mit niedergerissen. Diese Thatsache ist um so wichtiger, als das Ammoniak die über-

wiegende Stickstoffverbindung der Atmosphäre ist. Bretschneider[k]) fand in den Jahren 1866—1871 im Mittel in einem Liter Regenwasser

Stickstoff in Form von Ammoniak	=	1,836 mg,
„ „ „ „ Salpetersäure	=	0,123 „
in Summa		1,959 mg.

Der Boden besitzt nun die Fähigkeit, gasförmiges Ammoniak aus seiner Umgebung zu absorbieren. Es ist möglich, daß dem Ackerboden auf diesem Wege ein Teil des in der Atmosphäre noch zurückbleibenden Ammoniaks zugeführt wird. Wir sind bisher in vollständiger Unklarheit darüber, ob diese Absorption so groß ist, daß sie irgend welche Bedeutung für den Ackerbau besitzt. — Um zunächst das Maximum dieser Absorption annähernd kennen zu lernen, habe ich die Menge Ammoniak bestimmt, welche während 2 Jahren von wässeriger Salzsäure aus der Luft angezogen wurde.[m]) Im Durchschnitt betrug diese Menge bei einer 78,5 □cm großen absorbierenden Oberfläche:

Januar	0,993	mg Stickstoff
Februar	0,854	„ „
März	1,068	„ „
April	2,554	„ „
Mai	3,090	„ „
Juni	4,061	„ „
Juli	3,323	„ „
August	2,382	„ „
September	2,908	„ „
Oktober	0,878	„ „
November	0,892	„ „
Dezember	1,065	„ „

Berechnet man daraus die Absorption, die eine 1 ha große Fläche bewirken würde (eine Berechnung, die ich jedoch nicht für statthaft halte), so würde dieselbe pro Jahr 30,6 kg Stickstoff betragen.

Es ist jedoch ganz unwahrscheinlich, daß die Bodenarten

je diese Absorptionsgröße erreichen werden. Aus anderweiten Versuchen geht vielmehr hervor, daß die Kulturpflanzen nicht einmal soviel Stickstoff aus den natürlichen Quellen aufzunehmen vermögen, als sich aus den Regenwasseranalysen von P. Bretschneider berechnet. Dies beweisen folgende Versuche:

Nach den Beobachtungen des Verfassers produzierten 1 a große Flächen von Sandboden, der ausschließlich stickstoffbedürftig war (die übrigen Nährstoffe waren in genügenden Mengen vorhanden) und der sorgfältig bestellt wurde, aber keine Stickstoffdüngung erhielt, in den auf einander folgenden Jahren folgende Mengen Hafer:

		ohne Stickstoffdüngung	mit Stickstoffdüngung
1876	Stroh . . .	7,26 kg	22,25 kg
	Spreu . . .	1,68 „	3,38 „
	Korn	5,42 „	20,96 „
1877	Stroh . . .	? „	? „
	Spreu . . .	1,04 „	4,78 „
	Korn	5,00 „	20,74 „
1878	Stroh . . .	5,25 „	12,38 „
	Spreu . . .	0,85 „	1,65 „
	Korn	5,12 „	10,13 „
1879	Stroh . . .	5,30 „	24,68 „
	Spreu . . .	1,75 „	5,83 „
	Korn	3,95 „	18,38 „
1880	Stroh . . .	7,00 „	30,00 „
	Spreu . . .	1,00 „	13,63 „
	Korn . . .	5,62 „	18,75 „

Der Stickstoffgehalt in dem Jahre 1879 betrug

	ohne Düngung	mit Düngung
im Stroh . . .	0,216 %	0,240 %
in der Spreu . .	0,434 „	0,776 „
in den Körnern .	1,210 „	1,589 „

Es läßt sich annehmen, daß der Stickstoffgehalt in den nicht gedüngten Haferpflanzen während der 5 Vegetationsjahre annähernd derselbe geblieben ist. Unter dieser Voraussetzung berechnet sich der in den Ernten von 5 Jahren enthaltene Stickstoff des nicht gedüngten Hafers:

	in Stroh	in Spreu	in Korn		in Summa
1876	15,7	7,3	65,6	=	88,6 g
1877	?	4,5	60,5	=	? „
1878	11,3	3,7	62,0	=	77,0 „
1879	11,4	7,6	47,8	=	66,8 „
1880	15,1	4,3	68,0	=	87,4 „

Die Versuchsparzelle erhielt pro a 2,5 kg Saathafer. Letzterer hatte einen Stickstoffgehalt im Mittel von 1,9 %. Auf 1 a große Feldfläche berechnet, betrug also der in der Saat dem Felde zugeführte Stickstoff 47,5 g. Es ergiebt sich hieraus, daß die Haferpflanzen nicht einmal vermochten, das gleiche Quantum des in dem Samenkorn vorhandenen Stickstoffs aus den natürlichen Quellen zu schöpfen. — Die Versuchsparzelle war 4 a groß (obige Zahlen sind je auf 1 a berechnet) und bleibt daher die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß die betr. Parzelle von den umliegenden Parzellen düngende Erde zugeweht erhielt; Baumblätter fanden sich wiederholt auf der Parzelle.

Nach P. Bretschneider müßte eine 1 a große Fläche durch Regen und Schnee im Jahre 111,2 g Stickstoff erhalten. Berechnet man jedoch (ebenfalls nach Bretschneider) die Stickstoffmengen, welche während der Vegetationszeit des Hafers (Mai, Juni, Juli) auf 1 a fielen, so ergiebt sich 41,5 g und diese Menge würde gerade ausreichen, um den in den Ernten mehr gefundenen Stickstoff, als im Samenkorn gegeben wurde, zu decken.[9])

In jedem Falle geht aus diesen Versuchen soviel mit Bestimmtheit hervor, daß die natürlichen Stickstoffquellen für die landwirtschaftlichen Kulturen sehr wenig in die Wagschale fallen, und daß der Landwirt darauf bedacht sein muß, die Stickstoffmengen, die er in der Ernte in Form

von Korn, Stroh, Futter wieder gewinnen will, dem Boden durch Dünger zuzuführen.

Die Phosphorsäure.

Die einzige natürliche Quelle der Pflanzen für Phosphorsäure bilden die phosphorsäurehaltigen Mineralien des Ackerbodens. Die Phosphorsäure, namentlich in Verbindung mit Kalk, bildet zwar einen sehr verbreiteten, aber in sehr wechselnden Mengenverhältnissen auftretenden accessorischen Bestandteil der bodenbildenden Gesteine. Das für den Boden am meisten in Betracht kommende phosphorsäurehaltige Mineral ist der Apatit, eine Verbindung von dreibasisch phosphorsaurem Kalk (Tricalciumphosphat) (mit beigemengtem Chlorcalcium und Fluorcalcium). Sein mittlerer Gehalt an Phosphorsäure beträgt 41 %. Der Apatit ist in sehr vielen Gesteinen eingewachsen, meistens aber in sehr geringen Mengen.

Der Apatit ist ziemlich schwer verwitterbar. Die mikroskopischen Forschungen im Gebiete der Gesteinslehre haben gezeigt, daß die Gesteinsarten, in welchen der Apatit eingewachsen, bereits weit in ihrer Zersetzung vorgeschritten sein können, während der Apatit noch ganz unberührt von den Einflüssen sich hält, die die Verwitterung veranlassen. Dieser schweren Zersetzbarkeit des Apatits ist es auch zuzuschreiben, daß die chemische Analyse in einem Boden reichlichen Gehalt an Phosphorsäure nachweisen kann, während die Pflanzen doch Mangel an assimilierbarer Phosphorsäure leiden.

Aus der Beständigkeit des Apatits lassen sich für die Verteilung dieses phosphorsäurehaltigen Minerals in den verschiedenen Bodenarten einige Erklärungen geben, die bisher meines Wissens noch nirgends gegeben wurden. Die Bodenarten in der norddeutschen Ebene werden überwiegend zusammengesetzt aus den Bestandteilen von granitischen Gesteinen (Quarz, Glimmer, Feldspath und als accessorischen Bestandteil Apatit enthaltend). Durch Schwemmprozesse haben sich aus den Verwitterungsprodukten dieser Gesteine dann die

verschiedenartigen Sand-, Lehm- und Thonböden gebildet. Der Apatit, als schwer zersetzbarer Bestandteil des Gesteins, wird ziemlich bis zuletzt intakt und in körniger Form zurückgeblieben sein, während z. B. der Feldspath längst in die feinsten Teile zerfallen war, die dann von den Wasserfluten hinweggespült wurden. Hierdurch entstand also eine Scheidung in phosphorsäurearme feinerdige Zersetzungsprodukte, die sich später als Thon und Lehm absetzten, und in die weniger zersetzten körnigen Rückstände, Sand, Grus u. s. w., welche je nach dem zufälligen Gehalt des Urgesteins mehr oder weniger Apatit (die Hauptmenge des zersetzten Gesteins) enthielten. Hieraus erklärt es sich, warum in Norddeutschland die Thonböden fast ausschließlich phosphorsäurearm sind, während die Sandböden nur selten ausgesprochene Phosphorsäurearmut zeigen.

Als phosphorsäurehaltige Mineralien, die für einzelne Bodenarten Bedeutung erlangen können, ist ferner noch der Wavellit (basisches Thonerdephosphat) mit einem mittleren Gehalt von 35 % Phosphorsäure zu erwähnen. Er findet sich in Granit, Sandstein und im Grauwackengebirge bisweilen eingewachsen. Im Torfboden findet sich endlich der Vivianit, der in seiner von der Luft abgeschlossenen Lagerstätte weißerdige Massen bildet, die sich an der Luft rasch blau färben. Er besteht aus Eisenoxydulphosphat, das sich an der Luft (durch Aufnahme von Sauerstoff) zu Oxydphosphat umwandelt; sein mittlerer Phosphorsäuregehalt beträgt 29 %.

Der Umstand, daß die phosphorsäurehaltigen Mineralien nie wesentliche Bestandteile der Gesteine bilden, ist Ursache, daß bei den Gesteinsanalysen leider auf die für die Landwirtschaft so wichtige Phosphorsäure meistens gar kein Gewicht gelegt wurde; indem sie außerdem nur Bruchteile des Gesteins ausmacht, wird ihre Bestimmung in der Regel ganz übersehen. Nach den wenigen vorhandenen Analysen, welche die Phosphorsäure berücksichtigen, betrug der Gehalt daran[n]):

Phonolith	Spur	bis	0,23	$^0/_0$.
Melaphyr		„	1,12	„
Dolerit	Spur	„	0,70	„
Basalt	„	„	1,80	„
Thonschiefer und Grauwacke			0,04	„
Granulit[o])			0,63	„
Granit[o])			0,58	„
desgl., Verwitterungs-Sand[o]) .			0,68	„
Gneis[o])			0,71	„
Feldspath[o])			1,70	„
Muschelkalk[p])		bis	1,20	„

In den verwitterten Gesteinen sammelt sich wie oben erwähnt die Phosphorsäure an. Nach E. von Wolff[q]) betrug die Phosphorsäure im Muschelkalk

in dem dichten Gestein, fest, . . .	0,08	$^0/_0$
„ „ mürben Gestein, leicht pulverisierbar, ...	0,16	„
„ „ zur Hälfte zu feinem Pulver verwitterten Gestein . . .	0,92	„

In vielen Gesteinen ist die Phosphorsäure chemisch nur in geringen Spuren nachweisbar, aber nur sehr selten fehlt sie ganz.

Die Schwefelsäure.

Die Schwefelsäure findet sich, an Alkalien oder an alkalische Erden gebunden, ebenfalls weit verbreitet, wenn sie auch in den Boden bildenden Gesteinen oft nur in Spuren auftritt. Sie bildet einen Bestandteil des Gypses (Kalksulfat mit 46,5 $^0/_0$ Schwefelsäure), Glaubersalzes (Natronsulfat), Bittersalzes (Magnesiasulfat); sie bildet sich ferner bei der Oxydation der Schwefelmetalle; doch sind erfahrungsgemäß Böden mit Schwefelmetallen unfruchtbar. Die Schwefelsäure im Boden ist sehr leicht beweglich; sie wird hier durch Wasser (im Gegensatz zu der Phosphorsäure) leicht gelöst. In den meisten Quellwässern läßt sich Schwefelsäure nachweisen; diese

muß dem Boden entzogen worden sein. Obgleich die Pflanzen verhältnismäßig nur geringe Mengen von Schwefelsäure bedürfen, so werden sie doch hieran leicht Mangel leiden, weil aus der Ackerkrume durch das Regenwasser allmählich die Schwefelsäure ausgewaschen wird. Daher zum Teil die günstige Wirkung, welche die Gypsdüngung namentlich auf die Leguminosen (Klee, Erbsen, Bohnen u. s. w.) ausübt. Es ist in vielen Fällen nachgewiesen, daß die günstige Wirkung nur durch die Schwefelsäure des Gypses ausgeübt wurde. — Die Superphosphate, welche neben der Phosphorsäure ebenfalls Schwefelsäure (Gyps) enthalten, werden häufig durch ihren Gehalt an dem letzteren Bestandteil eine Wirksamkeit äußern. Man kauft dann die teure Phosphorsäure und erzielt die Wirkung nur durch die vorhandene scheinbar unwesentliche Schwefelsäure, während die Phosphorsäure wirkungslos bleibt. Es folgt hieraus, wie wichtig es ist, den Gehalt an assimilierbarer Schwefelsäure im Boden zu kennen; denn die Schwefelsäure-Düngemittel lassen sich leicht und billig beschaffen, und man setzt sich dann nicht der Gefahr aus, die Fruchtbarkeit durch teure Düngestoffe (Stickstoff-Phosphorsäuredüngemittel) erhöhen zu wollen, während sie in Wirklichkeit nur durch billige schwefelsäurehaltige Düngemittel erhöht werden kann.

Die Chlorverbindungen.

Das Chlor ist ein wesentlicher Bestandteil der meisten Apatite (Chlorapatite) und findet sich an Natrium gebunden sehr verbreitet, wenn auch ebenfalls meist nur in geringen Mengen. Die Pflanzen bedürfen nur geringe Mengen davon und ist ein Mangel an Chlorverbindungen im Boden für die Pflanzen nicht zu befürchten.

Das Eisen

findet sich in allen Bodenarten in unerschöpflichen Mengen. Die gelbe bis rote Färbung verdankt der Boden dem Eisen (Eisenoxyd). Ein gesunder Boden enthält das Eisen immer

in der sauerstoffreicheren Form, als Eisenoxyd, nicht als Eisenoxydul. Ist letztere Verbindung vorhanden, so ist dies ein Beweis, daß der Boden in ungenügender Weise von der atmosphärischen Luft, vom Sauerstoff, durchdrungen werden kann.

Kali, Kalk, Magnesia.

Diese Körper sind wesentliche Bestandteile der meisten bodenbildenden Gesteinsarten.

Das Kali findet sich reichlich in Feldspath (Orthoklas mit 9—15 % Kali), Glimmer (Kaliglimmer mit 8—10 % Kali) u. a. Mineralien.

Die Magnesia kommt in größerer Menge vor in Olivin (41—42 %), Magnesiaglimmer (15—30 %), Hornblende (13—24 %), Dolomit (12—22 %), Augit (12—15 %) u. s. w.

Der Kalk bildet als kohlensaurer Kalk große ausgedehnte Gebirgsmassen (Muschelkalk, Kreide) oder in Lagern mit Sand und Lehm gemischt die Mergel; außerdem bildet er einen wesentlichen Bestandteil vieler gesteinsbildenden Mineralien.

Den Gehalt der wichtigeren Gesteine an den genannten 3 Bestandteilen enthält die nachstehende Tabelle[n]):

	Kali.	Kalk.	Magnesia.
Granit	0,40— 6,39	0,68— 5,52	Spur — 2,80
Verwitterter Granit . . .	—	2,10— 7,20	0,08— 2,40
Gneis	1,70— 5,30	0,20— 4,70	0,01— 2,70
Felsit-Porphyr, quarzreich .	1,30— 7,90	Spur — 2,40	0,004—2,80
„ verwittert	1,00— 9,00	0,30— 1,20	0,01— 0,30
Felsit-Porphyr, quarzarm .	4,30—13,60	Spur — 2,50	1,10— 2,40
Grauer Porphyr (Harz) . .	2,50— 7,30	0,70— 3,10	0,10— 1,70
Liparit (Trachytporphyr) .	0,90— 8,30	0,05— 5,10	Spur — 3,20
Syenit	0,80— 5,50	0,50—10,00	0,30— 4,30
Sanidin-Trachyt	1,80— 8—9	1,10— 7,00	0,20— 4,00
„ verwittert . .	0,80—12,50	0,20— 7,10	0,10— 1,90
„ -Oligoklas-Trachyt .	2,00— 4,70	0,50— 3,20	0,20— 1,00
Phonolith	0,10— 9,50	0,03—14,80	0,10— 3,00
„ verwittert . . .	0,42— 8,10	0,70— 2,70	0,40— 7,20
Diorit	0,10— 3,80	5,40— 8,00	3,40— 9,70
Melaphyr	1,30— 3,70	1,80—10,50	Spur — 6,80
„ verwittert . . .	0,30— 5,90	1,90—10,80	0,70— 5,40
„ -Mandelstein . .	0,08— 7,10	3,10— 8,30	1,40— 4,70
Porphyrit	1,60— 4,00	1,40— 6,60	0,90— 2,70
„ verwittert . . .	3,90— 7,30	0,70— 3,80	0,60— 0,90
Amphibol-Andesit	0,05— 8,90	0,10—10,90	0,30— 5,30
„ verwittert . .	0,90— 2,80	5,90—10,10	2,60— 6,90
Pyroxen-Andesit	0,95— 4,70	0,60— 7,50	Spur — 5,40
Labrador-Porphyr	1,40— 3,30	3,70— 7,10	1,90— 5,00
Augit-Porphyr	0,50— 2,00	6,20—12,90	3,10— 8,10
Gabbro	0,27— 2,50	3,50—11,30	4,10—11,20
Dolerit	Spur — 3,90	4,00—14,60	1,40— 9,50
Basalt	0,40— 4,30	4,10—16,60	Spuren—16,3
„ verwittert	0,20— 2,30	2,50—10,90	0,09— 9,40
Glimmerschiefer	0,80—11,20	Spur — 4,90	Spur —11,00
Urthonschiefer (Phyllit) . .	0,20— 4,20	Spur —11,10	Spur —13,60
Hornblendeschiefer	0,60— 1,30	0,60—11,90	1,90— 4,70
Serpentin	0,29	0,80— 4,50	10,20—38,90
Thonschiefer (Alaunschiefer) .	1,20— 8,00	Spur — 13,7	Spur —11,70
Thonschiefer und Grauwacke (Kalke)	0,10— 7,20	Spur — 6,50	0,30— 4,60
Thonschiefer	0,20— 4,10	Spur —25,80	Spur — 6,00

3. Bestimmung der assimilierbaren Pflanzennährstoffe im Boden.

Aus den vorhergehenden Kapiteln geht hervor, welche Nährstoffe den Pflanzen in unerschöpflichen Mengen zur Ver-

fügung stehen und an welchen sie am leichtesten Mangel leiden. Unerschöpflich sind für die Pflanzen

die Kohlensäure } in der Luft,
der Sauerstoff

das Eisen } im Boden.
die Chlorverbindungen

Bisweilen werden dagegen die Pflanzen Mangel leiden (außer an Wasser) an Magnesia und Schwefelsäure.

Häufiger fehlen dem Boden:

Kalk,
Kali,
Phosphorsäure,
Salpetersäure (oder entsprechende Stickstoffverbindungen).

Die letztgenannten Nährstoffe sind ausschließlich solche, welche durch die Wurzeln aus dem Boden aufgenommen werden müssen. Da diejenigen Nährstoffe maßgebend für die Fruchtbarkeit des Bodens sind, welche in geringstem Maße vorhanden, so beansprucht die letztere Gruppe der Nährstoffe unsere größte Aufmerksamkeit; sie werden dadurch für uns die bedeutsamsten.

Eine der wichtigsten, aber auch der schwierigsten Aufgaben zur Beurteilung des Bodens ist die Bestimmung der den Pflanzen verfügbaren Mengen nutzbarer Nährstoffe im Boden.

Nachdem man die Notwendigkeit einzelner Aschen-Bestandteile für die Existenz der Pflanzen erkannt hatte, hoffte man anfänglich durch die chemische Analyse des Bodens sehr rasch Aufschluß über den Nährstoffvorrat im Boden zu erhalten. Die große Anzahl der chemischen Bodenanalysen, welche in Hinsicht hierauf seit dem verdienstvollen Sprengel[r]) bis auf die heutige Zeit ausgeführt wurden, haben aber diese Hoffnung zerstört: die durch die chemische Analyse gefundene Zusammensetzung des Bodens läßt nicht unmittelbar einen Rückschluß auf den Nährstoffreichtum zu, weil durch die chemische Analyse nur die absolute Menge der einzelnen

Bestandteile gefunden wird, während über die *momentane Nutzbarkeit* derselben für die Pflanzen keine Auskunft gewonnen wird.

Das Vermögen der Pflanzen, die im Boden chemisch oder absorptiv gebundenen Nährstoffe in den löslichen Zustand überzuführen, um dieselben aufnehmen zu können, geht nicht proportional mit der lösenden Kraft von denjenigen Flüssigkeiten, welche im Laboratorium zur Analyse des Bodens verwendet werden können. Die mineralischen Säuren bringen von den Bodenbestandteilen größere Mengen in Lösung, als die Pflanzenwurzel zu lösen vermag. Wasser jedoch löst weniger, als die Pflanze in demselben Boden nachweisbar auflösen kann. Preßt man die Pflanzenwurzeln mäßig zwischen Lackmuspapier, so bewirken sie eine rote Färbung, die später verschwindet; es ist dies ein Beweis, daß durch die Wurzeln stetig geringe Mengen von Kohlensäure ausgeschieden werden. Jedenfalls besitzt diese Kohlensäureausscheidung eine hohe Bedeutung für die Lösung der Pflanzennährstoffe; jedoch vermag bei dem direkten Versuche kohlensäurehaltiges Wasser aus dem Boden nicht so viel Nährstoffe in Lösung zu bringen, als die Pflanzen in dem nämlichen Boden zu lösen vermögen.

Zum Verständnis der Lösungsvorgänge bei der Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln wird die Beobachtung dienen, die man bei allen Wasser-Kulturversuchen machen kann, daß die Pflanzen selbst in ganz schwach *alkalischen* Lösungen sofort absterben, während sie ziemlich saure Reaktion (durch Phosphorsäure, Salpetersäure, nicht aber durch Salzsäure) vertragen können. In schwach sauren Lösungen gedeihen die Pflanzen nach den Beobachtungen des Verfassers sogar besser, als in neutralen Lösungen.

Die lösende Fähigkeit der Pflanzenwurzeln ist auch weniger in der ausgeschiedenen Säure (Kohlensäure) zu suchen, als vielmehr in der Art, *wie* die Aufnahme der Nährstoffe erfolgt. Diesen Vorgang muß man sich folgendermaßen vorstellen:

Man denke sich den Teil der Pflanzenwurzel, welcher

für die Nährstofflösung nach den Gesetzen der Endosmose durchdringbar ist, angeschmiegt an ein Bodenpartikelchen, welches Pflanzennährstoffe enthält. Das Bodenpartikelchen ist umhüllt von einer Wasserschicht. Die Mineralien sind nun keineswegs im Wasser resp. in kohlensäurehaltigem Wasser absolut unlöslich, kleine Mengen lösen sich immer; bei den gewöhnlich als unlöslich bezeichneten Substanzen sind diese Mengen nur verschwindend klein. Aus diesem Grunde wird nun ebenfalls in die das Bodenteilchen umhüllende Wasserschicht ein geringer Teil in Lösung übergehen, bald mehr, bald weniger, je nachdem der Reichtum des Bodens an assimilierbaren Nährstoffen dies bedingt. Die Pflanzenwurzel, mit der Wasserschicht des Bodenpartikelchens in Berührung, nimmt einen Teil der gelösten Pflanzennährstoffe auf; letztere dringen durch die Membran der Wurzelzellen nach den Gesetzen der Endosmose ein, und werden innerhalb der Pflanze nach den anderen Geweben übergeführt, wo sie zersetzt, gebunden, oder sonst verbraucht werden. Aus direkten Versuchen wissen wir, daß die Pflanzenwurzel eine Lösung an einzelnen Pflanzennährstoffen absolut zu erschöpfen vermag. (Nachgewiesen für Phosphorsäure.) Ein Gleiches wird bei der das Bodenpartikelchen umhüllenden Wasserschicht geschehen; hierdurch wird letztere aber wieder befähigt, abermals kleine Mengen Nährstoffe aus den umhüllenden Bodenpartikelchen zu lösen, welche ihm gleichfalls durch die Wurzeln entzogen werden. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, als die Pflanze noch Nährstoffe aufnimmt.

Die Fähigkeit der Pflanzenwurzeln, die Nährstoffe in dem Boden aufzulösen, beruht hiernach weniger darin, daß die Pflanzenwurzel (etwa durch eine ausgeschiedene Säure) den Boden direkt angreift, sondern vielmehr in der Fähigkeit, aus höchst verdünnten Lösungen ihre Nährstoffe zu schöpfen. Hierdurch bewirkt sie indirekt die Lösung weiterer Mengen durch dieselbe Wassermenge, welche vorher den Boden nicht weiter lösend anzugreifen vermochte, da sie unter den obwaltenden Verhältnissen mit den betreffenden Bestandteilen gesättigt war. Reines Wasser löst aus dem Boden einen kleinen Bruchteil der Be-

standteile auf, es ist aber unmöglich, den Boden durch reines Wasser an diesen Bestandteilen vollständig zu erschöpfen: Läßt man das Wasser lange Zeit mit dem Boden in Berührung, so wird es von einem gewissen Zeitpunkte an bei noch längerer Berührung nicht wesentlich größere Mengen in Lösung bringen; dies geschieht jedoch, wenn man das (gesättigte) Wasser durch neues ersetzt. Durch Benutzung von sehr großen Wassermengen, die in kleinen Portionen abwechselnd auf den Boden einwirken, würde man wohl im Stande sein, die nämlichen Mengen von Phosphorsäure, Kali u. s. w. in Lösung zu bringen, welche aus demselben Quantum Erde durch die Pflanzen im Laufe eines Vegetationsjahres in Lösung gebracht werden; was aber hier nur durch Verwendung von sehr großen Wassermengen möglich, das bewirkt die Pflanze mit Hülfe einer verhältnismäßig verschwindend geringen Wassermenge, indem sie derselben stetig die geringen gelösten Nährstoffe auf endosmotischem Wege wieder entzieht.

Auch von den Gesteins- oder Bodenpartikeln, welche nicht unmittelbar aber durch eine Wasserschicht mit der Wurzel in Verbindung stehen, wird in Folge der Erschöpfung des Wassers in der Nähe der Wurzel an gewissen Nährstoffen eine Diffusionsströmung nach der nährstofffreien Wasserzone (nach der Wurzel) hin stattfinden müssen.

Wenn im Vorhergehenden gesagt wurde, daß die Bodenbestandteile im Wasser nie absolut unlöslich seien, so ist doch die relative Menge, welche das Wasser davon aufzunehmen vermag, eine sehr verschiedene. Die Pflanze vermag in dem einen Falle den Wasserhüllen Nährstoffe im Übermaß zu entziehen, im anderen Falle kann sie den benötigten Teil nicht decken.

Aus diesen Darlegungen ergiebt es sich, warum es bisher unmöglich war, die für die Pflanzen nutzbaren (d. h. direkt aufnehmbaren) Nährstoffe im Boden zu bestimmen.

a. Die Pflanzenanalysen und ihre Benutzung zur Beurteilung des relativen Nährstoffgehaltes im Boden.

Es scheint sehr nahe zu liegen, zur Bestimmung der assimilierbaren Nährstoffe die Vorgänge im größeren Maße zu wiederholen, als sie im Kleinen nach Vorstehendem bei der Pflanzenernährung stattfinden; man könnte die in der Bodenlösung enthaltenen Bestandteile mit Hülfe eines Dialysators trennen, sie in demselben chemisch binden und unlöslich machen; nach Verlauf einer gewissen Zeit und unter Innehaltung gewisser Bedingungen könnten dann die Mengen an Phosphorsäure, Kali u. s. w. bestimmt werden, welche in den Dialysator eingetreten wären. Versuche in dieser Richtung wurden von mir angestellt, das Resultat war aber kein befriedigendes. Das Verfahren scheitert hauptsächlich daran, daß man nicht im Stande ist, absolut unlösliche Verbindungen der betreffenden Pflanzennährstoffe herzustellen, denn nur hierdurch würde man im Stande sein, das Gleichgewicht in den beiden Flüssigkeiten zu stören, wodurch abermals neue Mengen der Nährstoffe endosmotisch in den Dialysator eintreten müßten.

Eine Reihe vergleichender Bestimmungen haben den Verfasser zu der Überzeugung geführt, daß mit dem größten Erfolg die Pflanze selbst benutzt werden kann, um die relativen Mengen der im Boden vorhandenen Pflanzennährstoffe festzustellen. Die Pflanzenwurzeln sind hier gleich den künstlichen Dialysatoren. Jede einzelne Zelle der entsprechenden Wurzelgewebe wirkt gleich einem Dialysator; die Kleinheit der Zellen wird durch die Menge ersetzt. Indem die Wurzelfasern den Boden durchdringen, entziehen sie ihm in der angedeuteten Weise die assimilierbaren Nährstoffe.

Ist nun der Boden reich an assimilierbaren Nährstoffen, so nehmen die Pflanzenwurzeln reichlich davon auf. Die Aufnahme kann bis zu einem Übermaße gesteigert werden, so daß selbst in den höher gelegenen Organen, in den Blättern, Stengeln u. s. w. diese Stoffe wieder zur Ausscheidung gelangen. Unger[8]) beobachtete, daß die Kalk absondernden Saxifrageen (namentlich Saxifraga Aizoon und S. oppositifolia)

auf kalkarmem Thonschiefer wachsend, nur mit sehr dünnen Kalkschüppchen bedeckt waren, während die gleichen Pflanzen auf Kalkgebirgen oft eine die ganze Blattfläche bedeckende Kalkkruste besitzen. Die Saxifraga crusta, deren Kalküberzug auf dem heimatlichen Boden des krainischen Kalkgebirges charakteristisch ist, bildete, als sie Unger in dem botanischen Garten zu München kultivierte, gar keinen Kalküberzug. — Ähnliche Ausscheidungen lassen sich besonders bei den s. g. Schuttpflanzen häufig beobachten.

Es braucht jedoch die Aufnahme der Nährstoffe nicht bis zu dem Maße gesteigert zu werden, daß sie efflorescieren, der relative Reichtum des Bodens wird doch durch den Gehalt in den Pflanzen ausgedrückt sein.

Schon aus den Aschenanalysen von Th. de Saussure (1804) ging die Abhängigkeit des Mineralstoffgehaltes der Pflanzen von dem Mineralstoffgehalt des Bodens hervor.[1]) Die Blätter von Rhododendron ferrugineum enthielten einmal 16,75 %, das andere Mal 43,25 % kohlensauren Kalk in der Asche, je nachdem sie auf kalkarmem Granitgebirge oder auf dem kalkreichen Jura gewachsen waren. Es entspricht dieser Gehalt 0,428 resp. 1,298 % kohlensauren Kalk in der Trockensubstanz. (Aschengehalt = 2,5 resp. 3 %.) Ähnliche Verschiedenheiten, je nach den Bodenverhältnissen, weist de Saussure noch an Pinus Abies und Vaccinium Myrtillus nach.

In sehr überzeugender Weise bewies später Jones[2]), daß die Pflanzen an löslichen Salzen (Salpeter, schwefelsaurem Kali, Chlorkalium) reicher werden, wenn man dieselbe dem Boden künstlich zusetzt.

Die neueren Arbeiten haben uns eine große Anzahl weiterer Beläge für diese Thatsache beigebracht.

Zahlreiche Analysen der nämlichen Pflanze in der gleichen Entwickelungsstufe haben nun gelehrt, daß zwar der Gehalt an Mineral-Nährstoffen in den Pflanzen innerhalb sehr weiter Grenzen schwankt, daß es aber nach unten hin eine Grenze giebt, unter welche der Gehalt einer Pflanze oder eines Pflanzenteils nie sinken kann. Man bezeichnet diese untere

Grenze als das **Minimum** des betreffenden Nährstoffgehaltes. Dieser Minimalgehalt — verschieden für die einzelnen Nährstoffe — muß mindestens vorhanden sein, wenn sich die Pflanze weiter entwickeln soll; vermag die Pflanze aus dem Medium, in welchem sie sich ernährt, den betreffenden Nährstoff nicht zu schöpfen, so entwickelt sie sich nur so lange und so weit, bis der in Reserve vorhandene Nährstoff (im Samenkorn, in den Knollen, in Baumstämmen 2c.,) in den einzelnen Organen auf dieses Minimum herabgesunken ist; ist dies erreicht, haben die neugebildeten Organe so lange auf Kosten der älteren gelebt, so hört die Pflanze auf weiter zu wachsen und es ist dann gleichgültig, ob ihr nur **einer** oder **mehrere** der Pflanzennährstoffe fehlen. — Zur Illustration dieser Frage verweise ich wiederholt auf die auf Tafel I. abgebildeten Pflanzen, welche mit Ausschluß von Stickstoff (Nr. 2), oder Phosphorsäure (Nr. 3), oder Kalk (Nr. 4) erzogen worden waren, denen aber sonst die nämlichen Nährstoffmengen als den Pflanzen (Nr. 5) zur Verfügung gestanden hatten.

Befindet sich die Pflanze unter Verhältnissen, in welchen sie mehr von den Nährstoffen aufnehmen kann, als dem Minimum entspricht, so kann bis zu einem gewissen Grade der vegetative Vorgang, für welchen der betreffende Nährstoff eine Bedeutung besitzt, gesteigert werden. Eine noch weiter gesteigerte Aufnahme hat aber für die Pflanze keine Bedeutung, es ist ein Luxus, den die Pflanze durch den Verbrauch dieser Stoffe treibt. Man nennt daher diesen Vorgang **Luxuskonsumtion**.

Wenn nun die direkte Analyse des Bodens einen Aufschluß über den Vorrat von assimilierbaren Nährstoffen nicht geben kann, so mußten die mitgeteilten Erfahrungen, nach welchen die Aschenbestandteile der Pflanzen direkt von dem Nährstoffgehalt des Bodens abhängig sind, dahin führen, die Analysen der **Pflanzen** zu benutzen, um Aufschluß über den Nährstoffgehalt des Bodens zu erhalten.

An solchen Versuchen, die Pflanzenanalysen zu diesem Zweck nutzbar zu machen, hat es auch nicht gefehlt. Im

Jahre 1864 veröffentlichte A. Weinhold[v]) Untersuchungen „Über die Übereinstimmung der Zusammensetzung von Pflanzenaschen und derjenigen des Bodens." Im Jahre 1869 wies Hellriegel[w]) darauf hin, wie es möglich sei, durch Analyse der Ernteprodukte Aufschluß über die im Boden vorhandenen aufnehmbaren Pflanzennährstoffe zu erlangen. Später hat A. Emmerling[x]) „Untersuchungen über den Einfluß der Bodenbeschaffenheit auf die Zusammensetzung von Heu" ausgeführt.

Alle diese Versuche führten jedoch zu keiner Methode, durch welche auf Grund der Aschenanalysen der Gehalt des Bodens an assimilierbaren Nährstoffen hätte erkannt werden können. Und wie die Versuche ausgeführt wurden, konnten sie dies auch nicht, denn der Weg, der hierbei beschritten wurde, war ein falscher.

Weinhold untersuchte verschiedene Unkräuter und verglich die Zusammensetzung der Asche derselben untereinander. Er ging von der Ansicht aus, daß sich auf einem Boden nur solche Unkräuter entwickeln würden, für deren Gedeihen der Boden die günstigsten chemischen (und physikalischen) Bedingungen zeigt. Es wurde eine Ähnlichkeit der Aschen der Unkräuter erwartet, weil sie auf demselben Boden vegetierten. Wir wissen aber, daß Roggen, Erbsen, Kartoffeln, die in ihrem Mineralstoff-Gehalt so wesentlich von einander abweichen, auf demselben Boden wachsen und gedeihen. Wenn in der Landwirtschaft Kali-, Kalkpflanzen u. s. w. unterschieden werden, so will das sagen, daß das notwendige Minimum an Kali, Kalk u. s. w. bei den betreffenden Pflanzen verschieden ist. Kalipflanzen, wie die Kartoffeln, nehmen viel Kali aus einem Boden auf, Kalkpflanzen, z. B. die Erbsen, dagegen weniger Kali, aber viel Kalk. Diese Verhältnisse waren zu der Zeit bereits bekannt, als Weinhold seine Untersuchungen anstellte.

A. Emmerling untersuchte Heu — also ein Gemisch der verschiedensten Pflanzen — und verglich den Aschengehalt derselben mit dem von E. v. Wolff berechneten mittleren Gehalt in normalem Heu. Aus der Verschiedenheit zwischen beiden sollte sich ergeben, welche Nährstoffe in der fraglichen

Wiese in ungenügendem Verhältnisse vorhanden seien. Wenn man sich überlegt, daß das Heu nicht bloß aus den verschiedenartigsten Gräsern, sondern auch aus Pflanzen zusammengesetzt wird, die in ihrem Mineralstoffgehalt weit verschieden sind von den Gräsern, wenn man ferner bedenkt, daß die betreffenden Wiesenpflanzen bei einer Heuernte in den verschiedenartigsten Entwickelungszuständen sich befinden, in welchen ihre Zusammensetzung sehr beträchtliche Abweichungen zeigt, so muß man zu der Überzeugung kommen, daß eine solche Vergleichung gänzlich unzulässig ist. Emmerling verglich bei seiner Untersuchung nicht Gleiches mit Gleichem.

Viel weiter wurde die Sache gefördert durch die ebenso eingehenden als interessanten Untersuchungen Hellriegels. Derselbe kultivierte Gerstenpflanzen in einem Quarzsande (der nahezu kalifrei war), dem er eine Nährstofflösung zusetzte, in welcher nur der Kaligehalt schwankte. In jedem Versuchsgefäß entwickelten sich 8 Pflanzen, die folgendes Ernte-Ergebnis lieferten:

pro Gefäß (mit 4 kg Sand) wurde an Kali gegeben	1128	940	564	376	282	188	94	47	23	0 mg
geerntete Trockenmasse										
Stroh u. Spreu	8,92	9,00	8,76	8,69	9,33	8,20	6,86	5,74	3,87	0,8 g
Korn	8,96	6,16	8,53	9,08	10,10	9,58	7,85	4,70	2,93	— „
in Sa.	17,88	15,16	17,29	17,77	19,43	17,78	14,71	10,44	6,80	0,8 g
100 T. Trockensubstanz enthielten an Kali										
in Stroh u. Spreu	6,43	5,18	4,07	2,68	1,79	0,99	0,43	0,37	0,46	? T.
in Korn	0,67	0,59	?	0,50	?	0,38	0,35	0,18	0,18	? „
In der Ernte wurde von dem Kali wieder gefunden:										
in den Wurzeln,	77	34	?	24	20	5	5	2	1	0,6 mg
in Stroh u. Spreu	571	459	353	231	165	80	29	21	17,5	1,9 „
in den Körnern	60	36	?	45	?	36	28	8	5	—
in Sa.	708	529	—	300	?	121	62	31	23,5	2,5
in % d. gegeb. Menge	63	53	?	80	?	64	66	66	100	—

Der Gehalt der Trockensubstanz zeigt demnach regelmäßige Schwankungen, je nach den gegebenen Kalimengen. Der Kaligehalt des Strohes fällt von 6,43 auf ca. 0,40 %, der letztere Gehalt ist das durchschnittliche Minimum an Kali für die betreffenden Organe der Gerstenpflanze. In den Körnern fällt der Kaligehalt bis auf 0,18 % der Trockensubstanz. Indem Hellriegel nun 66—100 % von dem gegebenen Kali in der Ernte wiederfand, glaubte er auch bei den Kulturpflanzen des Feldes den Gehalt an assimilierbarem Kali, — wie überhaupt die assimilierbaren Mineralstoffe — im Boden bestimmen zu können.

Gegen die Übertragung der Resultate dieser Versuche auf die Kulturpflanzen unserer Felder lassen sich zwei Einwendungen machen:

1. Zunächst setzte Hellriegel die löslichen (direkt assimilierbaren) Kaliverbindungen einem Quarzboden zu. Die Nährstoffe befanden sich also unter andern Verhältnissen als in dem Ackerboden. In dem Quarzsande blieb das Kali gelöst, frei beweglich, in dem Ackerboden dagegen wird es absorbiert, d. h. in einen Zustand gebracht, in welchem es in Wasser schwer löslich wird. Die Pflanze schöpft daher auf dem Felde ihre Nährstoffe nicht aus einer Lösung, sondern muß erst die in Folge der Absorption gebundenen Nährkörper wieder in Lösung bringen. Wenn es nun auch gegenwärtig keinem Zweifel mehr unterliegt, daß die Pflanzenwurzeln die absorptiv gebundenen Stoffe in Lösung überzuführen vermögen, so fragt es sich doch, ob dann eine Luxuskonsumtion überhaupt oder in so bedeutendem Maße stattfindet, daß so beträchtliche Verschiedenheiten in der Zusammensetzung der Pflanzen auftreten, wie sie Hellriegel bei seinen Versuchen beobachtete. Die Absorption könnte, gleichsam als ein Retardationsmittel den zu raschen Verbrauch der Nährstoffe hindern und im gewissen Sinne eine Ökonomie mit dem Nährstoffkapital im Boden veranlassen. Die Hellriegel'schen Erfahrungen lassen sich hiernach nicht ohne

Weiteres auf die gewöhnlichen und normalen Verhältnisse des Ackerbodens übertragen.

2. Hellriegel analysierte die ganzen Gerstenpflanzen, wenigstens die Summe der verschiedenen Organe, welche Stroh und Spreu (Stengel, Blätter, Blattscheiden, Spelzen) zusammensetzen. Nun ist es aber bekannt, daß die einzelnen Organe der Pflanzen einen sehr verschiedenen Gehalt an Mineralstoffen zeigen. Bei einer Untersuchung von Kleepflanzen betrug der Kalkgehalt in 100 Teilen Trockensubstanz

in den Blättern 5,24 T.,
in den Stengeln 2,07 „ .

Je nachdem also die Pflanze mehr oder weniger Blätter entwickelt, wird der Kalkgehalt der ganzen Pflanze größer oder geringer sein. Auf die Entwickelung der Pflanzenorgane haben die mannigfaltigsten Umstände Einfluß. Eine große Luft- und Bodenfeuchtigkeit fördert die Blatt- und Krautbildung, Trockenheit dagegen die Stengel- und Kornbildung. Eine geringe Belichtung verursacht die Bildung schmaler, dürftiger Blätter, eine lang andauernd kräftige Belichtung fördert den Blattwuchs und verursacht außergewöhnliche Entfaltung der Blattspreiten.

Derartige äußerliche Einflüsse werden somit auf die Organentwickelung und dadurch indirekt auf die Mineralstoffaufnahme einwirken. Es könnte hierdurch beispielsweise veranlaßt werden, daß bei gleichem Kalkgehalt des Bodens die Kleepflanzen in dem einen Falle wegen ihrer großen Blattentwickelung kalkreicher werden, als in dem andern.

Aber diese Unterschiede erstrecken sich nicht nur auf die einzelnen Organe, sondern dasselbe Organ ist je nach seinem Entwickelungsorte (entsprechend also seinem relativen Alter) verschieden zusammengesetzt. Isidore Pierre[y]) fand z. B. in den reifen Weizenpflanzen in 1000 Teilen Trockensubstanz an Kali:

	in den Stengelgliedern.	in den Blättern.	Knoten.	
1. (obersten)	2,22	0,50	25,73	Teile,
2.	2,26	1,12	20,77	„
3.	3,58	1,02	9,14	„
4.	1,94	0,47	7,29	„
5.	—	0,00	4,77	„

Auch für die andern Mineralstoffe findet eine ähnliche Verteilung statt; für den Stickstoffgehalt der Haferpflanzen werden weiter unten noch Beispiele mitgeteilt werden.

Wichtig hierzu ist der Umstand, daß es ganz von den zufälligen Witterungsverhältnissen abhängen wird, ob die älteren oder jüngeren Blätter u. s. w. vorzugsweise zur Entwickelung gelangen und demnach die Zusammensetzung der ganzen Pflanze beeinflussen.

Geht die Aufnahme der Nährstoffe durch die Pflanze aus dem Boden nach den Gesetzen der Endosmose vor sich, so wird sich der Gehalt der Pflanzen ausschließlich nach dem Verbrauch derselben richten; denn nur hierdurch wird das osmotische Gleichgewicht gestört, so daß neue Mengen Nährstoffe in die Pflanzen eintreten können. Die Weizenpflanze wird um so mehr Kali aufnehmen, je größer die relative Entwickelung der Knoten ist und je massiger sich die mittleren Blätter und Stengelglieder entfaltet haben. Der Gehalt einer ganzen Pflanze an Mineralstoffen ist deshalb nicht allein von dem Bodenreichtum abhängig, sondern richtet sich außerdem nach den äußeren, zufällig herrschenden Bedingungen. Der von Hellriegel beschrittene Weg, die gesammte Pflanzenmasse zu analysieren und nach deren Reichtum an Mineralstoffen Rückschlüsse auf den Gehalt im Boden zu ziehen, ist hiernach nicht zulässig.

Anders verhält es sich, wenn man diese Untersuchungen nicht auf die ganze Pflanze erstreckt, sondern sie nur auf bestimmte einzelne Organe beschränkt.

Es fragt sich hier nur, welches Glied der Pflanze für diese Untersuchungen am zweckmäßigsten, und bei welchen sich

der Unterschied zwischen nährstoffreichen und nährstoffarmen Böden am deutlichsten ausspricht.

Um diese Frage zu entscheiden, ist es nötig die einzelnen Organe der Pflanzen von nährstoffarmen und reichen Böden auf ihren Gehalt an Mineralstoffen vergleichsweise zu analysieren. Es bot sich mir Gelegenheit, solche Versuche auszuführen. Es standen mir Felder zur Verfügung, die sich durch einen fast absoluten Mangel an assimilierbaren Stickstoffverbindungen auszeichneten. Von den angewendeten künstlichen Düngemitteln waren nur die stickstoffhaltigen von Wirksamkeit; sie wirkten um so kräftiger, je reichlicher der Stickstoff in ihnen enthalten war; die Wirkung von Kali-, Kalk-, Phosphorsäure-Düngungen war gleich Null; in Gemeinschaft mit Stickstoff war die Wirkung nur dem gegebenen Stickstoff entsprechend. Auf diesem Boden wurde Hafer für die erwähnten Versuche kultiviert und zwar einmal auf dem Urboden, ohne Düngung, sodann auf demselben Boden, stark mit schwefelsaurem Ammoniak gedüngt. ($2^1/_2$ kg pro a.) Die Pflanzen, die auf den beiden Parzellen erzielt wurden, zeigten enorme Verschiedenheiten. Beide Parzellen lagen dicht nebeneinander; eine andere Ungleichmäßigkeit als die Düngung konnte nicht vorhanden sein. Die Stickstoffdüngung in dem stickstoffarmen Boden hatte das Gewicht von 1000 Pflanzen auf 2613 g gebracht, während 1000 Pflanzen auf der nicht gedüngten Parzelle nur 143 g wogen. Die letzteren Pflanzen waren 22—24 cm hoch, bestanden nur in spärlichen Exemplaren das Feld und brachten 1 höchstens 2 Körner in der Rispe zur Ausbildung. Die gedüngten Pflanzen dagegen waren kräftig, 120 cm hoch und höher und brachten reichlich Früchte. Aus diesen Zahlen soll nur hervorgehen, daß der betreffende Boden wirklich Mangel an assimilierbarem Stickstoff litt. — Bei der großen Massenproduktion auf der gedüngten Parzelle war es sogar fraglich, ob die Pflanzen wirklich eine Stickstoff-Luxuskonsumtion treiben konnten, oder ob der gegebene Stickstoff zur Bildung von organischer Substanz vollständig verbraucht worden war. Die Bestimmung des Stickstoffs in den verschieden hoch

gelegenen (verschieden alten) Gliedern der Haferpflanze ergab folgendes Resultat:

100 Teile Trockensubstanz der nachstehenden Pflanzenteile enthielten zur Zeit der Blüthe an Stickstoff:

	A. von stickstoffarmem Boden	B. von mit Stickstoff gedüngtem Boden
1. Blüthenteile	2,59 T.	3,31 T.
2. Internodien der Rispe .	1,28 „	2,36 „
3. Erstes (oberst.) Stengelglied	1,05 „	1,77 „
4. zweites Stengelglied . .	0,69 „	1,13 „
5. drittes „ .	0,65 „	1,01 „
6. viertes „ .	0,77 „	1,48 „
7. fünftes „ .	1,21*) „	1,57 „
8. Wurzel	1,09 „	2,63 „

*) Das 5. (unterste) Stengelglied war rudimentär entwickelt.

Aus diesen Bestimmungen geht zunächst hervor, daß die Pflanzen auf dem Boden mit Stickstoffdüngung absolut und relativ mehr Stickstoff aufgenommen haben, als die Pflanzen auf dem stickstoffbedürftigen Boden.

Weiterhin geht daraus hervor, daß die Differenz des Stickstoffgehaltes zwischen den stickstoffarmen und stickstoffreichen Pflanzenteilen in den oberen (jüngsten) Organen am geringsten ist, sie tritt im Allgemeinen um so schärfer hervor, je mehr man sich den unteren (älteren) Gliedern nähert. Noch deutlicher wird dies, wenn man die Relation des Stickstoffes beider Pflanzen dergestalt berechnet, daß man den Stickstoffgehalt der stickstoffreichen Pflanzen immer gleich 100 setzt. Das Verhältnis beträgt dann:

	stickstoffreiche Pflanzen		stickstoffarme Pflanzen
In der Blüthe	100	:	78
Internodien der Rispe	100	:	54
Oberstes Stengelglied	100	:	59
zweites „	100	:	61
drittes „	100	:	64
viertes „	100	:	52
fünftes „	100	:	81*)
Wurzel „	100	:	41!

*) Verkümmertes Stengelglied.

Es will dies besagen, daß sich ein Überfluß oder ein reichlicher Gehalt des Stickstoffs in den tieferen (älteren) Pflanzenteilen bemerkbarer macht, als in den höheren (jüngeren) Pflanzenteilen.

Die bekannte Thatsache, daß die Getreidekörner eine so gleichbleibende Zusammensetzung aufweisen und selbst von den verschiedensten Boden- und Düngungsverhältnissen in ihrer Zusammensetzung wenig beeinflußt werden, ist ebenfalls hierauf zurückzuführen; die Körner sind die jüngsten Bildungen, sie enthalten die nötigen Mineralstoffe immer mehr oder weniger in der Nähe des Minimums; in um so höherem Maße werden aber die krautigen Pflanzenteile von Boden und Düngung beeinflußt. Ähnlich wie der Stickstoff verhalten sich auch die andern Pflanzennährstoffe. Ich unterlasse es, noch weitere Beläge hierfür beizubringen. Es sei nur noch auf die oben angeführten Zahlen für Kali aus den Pierreschen Weizenuntersuchungen (Seite 56) hingewiesen. Der fragliche Weizen war offenbar auf einem an assimilierbarem Kali armen Boden gewachsen. Den unteren (ältesten) Pflanzenteilen war in Folge der Kaliarmut das Kali wieder entzogen worden, um die jüngeren noch in Vegetation begriffenen Organe damit zu versorgen. Die untersten Blätter wurden an Kali sogar vollständig erschöpft.

Es bleibt uns nur noch zu prüfen übrig, ob das bei den Hellriegel'schen Versuchen erhobene Bedenken begründet ist oder nicht, ob nämlich bei denjenigen Pflanzennährstoffen, welche von dem Boden absorptiv gebunden werden, ebenfalls noch eine Luxuskonsumtion stattfindet, oder ob die Absorption des Bodens dieselbe hindert oder wenigstens minder zum Ausdruck gelangen läßt. Die dem Boden bei dem oben mitgeteilten Düngungsversuch zugeführte Stickstoffverbindung (das schwefelsaure Ammoniak) wird zwar von dem Boden ebenfalls absorbiert; aber wir wissen, daß sich das Ammoniak im Boden rasch zu Salpetersäure oxydiert und haben gesehen (Seite 25), daß mit Wahrscheinlichkeit nur die Salpetersäure als Stickstoffnährmittel angesehen werden kann. Die Pflanzen haben

deshalb in diesen Versuchen nicht Ammoniak, sondern Salpetersäure aufgenommen. Nun haben Untersuchungen gelehrt, daß die Salpetersäure (ebenso wie Chlor und Schwefelsäure) im Boden nicht absorbiert wird, sie bewegt sich frei als Lösung im Boden; die Pflanzen entnehmen daher ihren Stickstoff nicht einem absorptiv gebundenen, sondern einem löslichen Körper. Aus diesem Grunde ist der mitgeteilte Stickstoffdüngungs-Versuch zur Beseitigung des aufgeworfenen Bedenkens nicht zu gebrauchen. Wir müssen hier vielmehr eine Düngung verwenden, welche nicht wie das schwefelsaure Ammoniak im Laufe der Zeit durch chemische Umwandlung von der durch die Absorption veranlaßten Unlöslichkeit sich wieder frei macht und in Lösung tritt. Der düngende Körper muß bis zu der Zeit im gebundenen Zustande verbleiben, wo er von der Pflanze aufgenommen wird. — Zu solchen Versuchen könnte man Kali-, Kalk-, Magnesia- oder auch Phosphorsäuredüngungen verwenden. Die genannten Stoffe werden sämtlich, wenn sie in einer wasserlöslichen Form angewendet werden, im Boden wieder unlöslich. Zu mehrjährigen entsprechenden Versuchen wurde von mir die Phosphorsäuredüngung benutzt. Zwei neben einander liegende Parzellen wurden alljährlich einmal mit 20%igem Superphosphat ($2\frac{1}{2}$ kg pro a), das andere Mal mit einer phosphorsäurefreien Düngung versehen. Die Versuchspflanze war immer Hafer. Zur Untersuchung gelangten nur die Wurzeln der reifen Haferpflanzen. Das Ergebnis war in den verschiedenen Versuchsjahren folgendes:

In 100 T. sand- und wasserfreier Substanz der Haferwurzeln waren enthalten:

im Jahre	1877	1878	1879	
A. ohne Phosphorsäuredüngung . .	0,18	0,27	0,26	T. Phosphors.
B. mit Phosphorsäuredüngung . .	0,36	0,51	0,67	„ Phosphors.

Diese Versuche lehren auf das Unzweifelhafteste, daß die Absorptionskraft des Bodens für einzelne Pflanzennährstoffe kein Hindernis ist, um eine Luxuskonsumtion eintreten zu

lassen, die Pflanzen unterscheiden anscheinend nur wenig, ob die einzelnen Nährstoffe in einer Lösung oder in absorptiver Bindung im Boden vorhanden sind.

Aus diesen Darlegungen folgt, daß die Pflanzenanalysen sehr wohl dazu verwendet werden können, um über den relativen Reichtum des Bodens an assimilierbaren Pflanzennährstoffen Aufschluß zu geben.[10]) Es müssen jedoch hierbei, damit man zu sicheren Resultaten kommt, nachstehende Punkte Berücksichtigung finden:

1. Die Untersuchung ganzer Pflanzen kann zu irrigen Resultaten führen; die Untersuchung hat sich nur auf einzelne Organe zu erstrecken.

2. In den höher gelegenen, jüngeren Pflanzenteilen spricht sich die Differenz zwischen „arm" und „reich" wenig deutlich aus; der Gehalt nähert sich hier dem nötigen Minimum.

3. Die Differenz des Nährstoffgehaltes spricht sich am beträchtlichsten in den älteren und tiefer gelegenen Pflanzenteilen, am deutlichsten in den Wurzeln aus.

4. Für den zur Untersuchung gelangenden Pflanzenteil ist das für die einzelnen Nährstoffe nötige Minimum festzustellen, um dann durch den Vergleich prüfen zu können, ob in den einzelnen Fällen sich der Gehalt des betreffenden Nährstoffs im Boden dem Minimum nähert.[11])

5. Selbstverständlich sind die betreffenden Pflanzenteile immer nur von Pflanzen zu nehmen, welche sich in dem gleichen Entwickelungsstadium befinden.

Aus der Beantwortung obiger Vorfragen ergiebt sich, daß die Wurzel das zweckmäßigste Organ für vergleichende Untersuchungen zur Beurteilung der Nährstoffverhältnisse im Boden abgiebt und zwar die Wurzel von reifen,[12]) nicht perennierenden Pflanzen.

Die Wurzeln von den genannten Pflanzen sind zur Zeit der Reife um so mehr erschöpft, je ärmer die Bodenarten sind; alle verfügbaren Nährstoffe sind in die oberen Pflanzenteile gewandert, um dort zur Assimilation und zum Aufbau der Organe verwendet zu werden. Die Wurzel entwickelt sich

bei den Pflanzen zuerst; das ganze Wurzelsystem entwickelt sich früher und wird in seinem Wachstum eher abgeschlossen, als das der oberirdischen Teile.[13]) Ein Unterschied in der Zusammensetzung der Wurzelspitzen und der älteren Teile der Wurzel findet um so weniger statt, je ärmer der Boden und daher auch die Pflanzen an den betreffenden Nährstoffen sind. Das sämtliche Wurzelsystem wird bei den nährstoffarmen Pflanzen bei dem Reifeprozeß förmlich ausgesogen, damit die spärlichen Nährstoffe für die jüngern oberirdischen Pflanzenorgane benutzt werden können. Dies ist für die Brauchbarkeit der Methode deshalb von Wichtigkeit, weil es für das Resultat der Analysen wenig bedeutet, ob die jüngsten, zarten Wurzelspitzen bei dem Ausziehen aus dem Boden mit zur Untersuchung gelangen oder nicht. Andere Verhältnisse finden bei den perennierenden, nicht absterbenden Pflanzen statt. Hier werden im Gegenteil Stoffe für die künftige Vegetation der Pflanzen in dem Wurzelstock wieder niedergelegt. Deshalb müssen auch die perennierenden Pflanzen von den Untersuchungen zum vorliegenden Zwecke ausgeschlossen bleiben. —

Der Verfasser hat es nun versucht, das Minimum der wichtigeren Nährstoffe zunächst für eine Pflanze festzustellen. Hierzu wurde Hafer gewählt. Diese Kulturpflanze kann auf den verschiedenartigsten Böden gebaut werden und schien deshalb für den vorliegenden Zweck am geeignetsten. Es wird eine Aufgabe der nächsten Zeit sein, die Minimalmengen der Nährstoffe auch in den Wurzeln der reifen Weizen-, Roggen- und Gerstenpflanzen festzustellen, damit von dem Landwirte auch diese benutzt werden können, um Aufschluß über die Bodenbeschaffenheit zu erlangen.

Bestimmung des Stickstoffminimums in den Hafer-Wurzeln.

Der stickstoffarme Boden, der dem Verfasser zu den früheren Versuchen (Seite 57) zur Verfügung stand, wurde benutzt, um das Minimum des Stickstoffs in den Wurzeln reifer Haferpflanzen festzustellen. Das Stickstoffbedürfnis des

Bodens wurde bereits oben nachgewiesen (Seite 57). Der Stickstoffgehalt der Wurzeln reifer Pflanzen auf denjenigen Parzellen, welche ohne Stickstoff geblieben waren, betrug:

in den Jahren	1876	1877	1878	1879	1880
	0,53—0,69 %	0,52 %	0,51 %	0,46 %	0,66 %.

Durch stickstoffreiche Düngungen wurden dagegen Gehalte erzielt:

	1876	1877	1878
bis zu	0,93 %	1,4 %	1,72 %.

Diese Bestimmungen ergeben unzweifelhaft, daß eine Vermehrung des Stickstoffs im Boden überall eine Vermehrung des Stickstoffs in der Wurzel bewirkt.

Das Minimum des Stickstoffs in der Wurzelsubstanz des Hafers läßt sich nach diesen Feldversuchen zu 0,5—0,6 % annehmen. —

Von dem Verfasser wurden ferner Haferpflanzen in wässeriger Nährstofflösung kultiviert, die — bei sonst gleicher Ernährung — nur mit verschiedenen Mengen Stickstoff (in Form von salpetersaurem Kalk) ernährt wurden. Der Stickstoffgehalt der Wurzeln von den reifen Haferpflanzen betrug bei dem verschiedenen Stickstoffgehalt der Nährflüssigkeit:

1. bei 10 Äquivalent Stickstoff pro Liter = 2,09 %*)
2. bei 1 " " " " = 0,91 " **)
3. bei 1/4 " " " " = 0,88 " ***)
4. bei 0 " " " " = 0,86 " †)

*) Die Wurzelsubstanz war mürbe und ließ sich zerreiben.

**) Die Wurzel war holzig.

***) Die Wurzel weniger holzig.

†) Die Wurzel der kümmerlichen Pflanzen war sehr fein und zart.

Das Minimum der Pflanzen in wässeriger Nährstofflösung an Stickstoff stellt sich hiernach etwas höher als bei den Pflanzen auf dem Felde, was wohl auf die Zartheit der betreffenden Wurzeln und deren unterbliebenen Verholzung zurückgeführt werden muß; die Wasserwurzeln sind in dieser Beziehung nicht mit den Landwurzeln zu vergleichen. Immerhin nähert sich deren Minimalgehalt dem der Feldpflanzen, besonders wenn man sie den Wurzeln gegenüber hält, die in

stickstoffreichen Böden gewachsen sind. Ein Irrtum in der Beurteilung des ernährenden Mediums ist nicht leicht möglich.

Das Minimum der Haferwurzeln an Kali.

Der Boden, auf welchem die Kalidüngungen gänzlich erfolglos blieben, produzierte Haferwurzeln, welche zur Zeit der Reife 0,87—1,13 % Kali in 100 Teilen Trockensubstanz enthielten. Durch eine Düngung von 5 kg dreifach konzentrierten Kalisalzes pro a wurde dieser Gehalt bis auf 1,53 % gesteigert. Durch die Unwirksamkeit der Kalidüngung war der Beweis gegeben, daß selbst der Gehalt von 0,87 % ein sehr hoher war und nicht dem Minimum entsprach. Der überreichliche Kaligehalt der Pflanzen hat keinen Nutzen; er bleibt wirkungslos. In kulturwirtschaftlichem Sinne bleibt diese Mehraufnahme ohne Effekt, eine Verschwendung.

Es wurden nun Versuche in Gang gesetzt, bei welchem durch reichliche einseitige Düngung von Phosphorsäure und Stickstoff der Kaligehalt erschöpft werden sollte. Es gelang auf diese Weise, das Kali in den Wurzeln zu mindern

bei Versuch I. bis zu 0,35 % der Trockensubstanz,
„ „ II. „ „ 0,37 % „ „

ohne daß jedoch bei den seit 1877 bis 1881 fortgesetzten Erschöpfungsversuchen die Erträge irgendwie erkennbar durch Kalimangel nachgelassen hätten. 2 a große Parzellen wurden alljährlich mit 10 kg 20%igen Superphosphats und 10 kg schwefelsauren Ammoniaks gedüngt. Bisher wurde auf den Parzellen jedes Jahr Hafer gebaut. Der Ertrag pro 2 a betrug:

	1876	1877	1878	1879	1880.
Stroh	39,5	?	30,9	63,5	51,0 kg
Spreu	5,2	10,3	5,4	17,0	6,0 „
Korn	37,9	44,3	21,9	43,9	50,0 „

Die Erschöpfungsversuche sollen noch mehrere Jahre fortgesetzt werden, bis der Ertrag dauernd fällt.

Auf diesem Boden konnte demnach das Kaliminimum bis jetzt noch nicht festgestellt werden. Es wurden deshalb ferner Versuche auf Torfboden angestellt, auf welchen Kalidüngung eine

mäßige Wirkung ausübte. Die Wurzeln des dort gewachsenen Hafers zeigten einen Kaligehalt von 0,10 %, ein anderer eisenoxydreicher Boden ergab 0,14 % Kali in 100 Teilen der Wurzeltrockensubstanz. Die Kulturen der wässerigen Lösungen lieferten Pflanzen, deren Kaligehalt in 100 T. Trockensubstanz der Wurzeln betrug:

	bei einem Gehalte von Kali pro Liter Nährstofflösung	Kaligehalt der Trockensubstanz der Haferwurzeln
A.	4 Äquivalent Kali,	0,620 T.
B.	1 „ „	0,183 „
C.	0*) „ „	0,075 „

*) Geringe Mengen von Kali waren hier in der Lösung vorhanden, da das gegebene Natronsalz wenig kalihaltig war.

Auf Grund dieser Versuche läßt sich annehmen, daß das Minimum des Kaligehaltes in den Haferwurzeln annähernd 0,1 % beträgt. Als Beispiel, wie hoch im Gegensatz hierzu der Kaligehalt der Wurzeln sich steigern kann, mag auf die Angaben Seite 64 verwiesen werden, nach welchen die Haferwurzeln bis 1,53 % Kali enthielten.

Beyer[z]) fand bei Haferpflanzen, die in Brunnenwasser kultiviert worden waren, den Kaligehalt der Wurzelasche zu 22,85 %. Der Aschengehalt betrug 6,2 %, daraus berechnet sich ein Kaligehalt von 1,42 % der Trockensubstanz. Fittbogen[aa]) fand sogar 1,727 % Kali in den Wurzeln reifer Haferpflanzen.

Das Minimum der Haferwurzeln an Phosphorsäure.

Die Haferwurzeln von dem stickstoffarmen Boden, auf welchem phosphorsäurehaltige Düngemittel weder für sich noch in Gemeinschaft mit stickstoffhaltigen Düngemitteln den Ertrag steigerten (die Ertragsvermehrung entsprach nur den Mengen der aufgewendeten Stickstoffdüngungen), enthielten 0,21 bis 0,39 % Phosphorsäure. Die Unwirksamkeit der Superphosphatdüngung bewies, daß der Phosphorsäure-Gehalt des Bodens noch ein reichlicher war, denn es konnten bei ein-

seitigen Stickstoffdüngungen hohe Erträge ohne Phosphorsäurezufuhr erzielt werden.

Wie bei dem Kali, so wurden auch für die Phosphorsäure zur Feststellung des Minimums in den Wurzeln Versuche eingeleitet, um durch einseitige Stickstoff- und Kalidüngungen den Phosphorsäuregehalt des Bodens zu erschöpfen. Der Phosphorsäuregehalt des Bodens ist jedoch gleich dem Kaligehalt so beträchtlich, daß in den Ernte-Erträgen bisher (bei 5jährigen Kulturen) weder eine wesentliche Abnahme stattfand, noch eine Verminderung des Phosphorsäuregehaltes in den Wurzeln konstatiert werden konnte.

Eine 2 a große Versuchsparzelle erhielt jedes Jahr 10 kg dreifach konzentrierten Kalis und 10 kg schwefelsauren Ammoniaks. Alljährlich wurde Hafer gebaut. Der Ertrag war:

in den Jahren	1876	1877	1878	1879	1880	
Stroh	60,5	?	60,4	65,5	55,0	kg
Spreu	4,7	10,5	6,3	15,8	20,0	"
Körner	40,2	46,8	47,4	39,9	36,5	"

Die Schwankungen sind so gering, daß sie auf Zufälligkeiten beruhen können. Auch diese Versuche müssen — jedoch unter Benutzung einer Fruchtfolge — noch Jahre lang weiter fortgeführt werden, ehe eine Phosphorsäureerschöpfung zu erwarten ist.

War das Minimum des Phosphorsäuregehaltes in den Haferwurzeln hiernach mit dem vorliegenden Material nicht festzustellen, so bot sich anderweitig Gelegenheit hierzu. Haferwurzeln von einem bindigen Boden, der bisher noch keine künstlichen Düngemittel erhalten hatte, dagegen ziemlich gut mit Stalldung bewirtschaftet worden war, zeigten einen Phosphorsäuregehalt von 0,08 $^0/_0$ in der Trockensubstanz. Die in Folge dieser Erfahrung ausgeführte Superphosphatdüngung soll nach Privatmitteilung einen enormen Erfolg gehabt haben. Leider wurden die Erträge nicht ihrem Gewichte nach festgestellt. Von einem andern Boden ergab die Haferwurzel 0,1 $^0/_0$ Phosphorsäure in der Trockensubstanz. Auch

hier hatten Versuche die Phosphorsäurebedürftigkeit des Bodens ergeben.

Hiernach kann als Minimum der Haferwurzel ein Phosphorsäuregehalt von **0,08—0,1** % angenommen werden.

Über die Höhe, bis zu welcher der Phosphorsäuregehalt in den Haferwurzeln steigen kann, sei noch folgendes erwähnt: Aus einer Analyse von Weiske[bb]) berechnet sich der Phosphorsäuregehalt der Haferwurzel zu 0,79 %. — Beyer[z]) fand den Phosphorsäuregehalt der Wurzeln von in Brunnenwasser gezogenen Haferpflanzen zu 0,73 %; Fittbogen[aa]) bei Haferpflanzen, die in Glasgefäßen, mit gesiebter Gartenerde gefüllt, erzogen waren, sogar zu 1,489 % der Trockensubstanz.

Die Bestimmung der Minima von Stickstoff, Kali und Phosphorsäure in den Haferwurzeln habe ich zunächst zum Abschluß zu bringen versucht. Zu dem Zwecke sind nahe an 100 Wurzelanalysen ausgeführt worden. Die Minima betrugen nach obigen Untersuchungen in der Haferwurzel:

für den Stickstoff	0,50—0,60 %	der Trockensubstanz,
„ das Kali	0,08—0,10 „	„ „
„ die Phosphorsäure	0,08—0,10 „	„ „

Für die anderen Nährstoffe betrugen die bisher gefundenen Minimalgehalte:

für den Kalk	0,37 %	der Trockensubstanz,
„ die Magnesia	0,01 „	„ „
„ die Schwefelsäure	0,03 „	„ „

Ich halte es jedoch, namentlich in Bezug auf den Kalk, für unwahrscheinlich, daß die letzteren Zahlen das wirkliche Minimum aussprechen. Wahrscheinlich werden die Zahlen noch weiter herabgesetzt werden müssen. — In Betreff des Minimums für Schwefelsäure sei auf Seite 81 ff. verwiesen.

Die praktische Verwertung der Wurzelanalysen.

Wenn in Obigem die Zahlen gegeben wurden, welche den geringsten Gehalt der Haferwurzeln an Stickstoff, Kali und Phosphorsäure repräsentieren, so müssen diese Zahlen noch

dahin erläutert werden, daß bei solchen Minimalgehalten bereits ein wirklicher Mangel eingetreten ist, unter welchem eine günstige Vegetation schon nicht mehr stattfinden kann. Je weiter aber sich die Gehalte in den Haferwurzeln von den angeführten Minimalzahlen entfernen, desto weniger notwendig wird die Zuführung von assimilierbaren Nährstoffen durch die betreffenden künstlichen Düngemittel sein. Sind die übrigen Nährstoffe, wie aus der Analyse der Wurzel hervorgehen muß, in reichlicher Menge vorhanden, so wird eine Zufuhr von demjenigen Nährstoff, der sich dem Minimum am meisten nähert, doch eine Steigerung der Ernte herbeiführen, obgleich das Minimum hier noch nicht erreicht war. Diese Zahlen müssen eben in ihrer Relation gedeutet werden. Sind z. B. alle übrigen Nährstoffe in reichlicher Menge vorhanden, so wird eine Düngung mit dem sich dem Minimum am meisten nähernden Pflanzennährstoff selbst dann schon eine Wirkung haben, wenn

der Stickstoffgehalt erst bis auf 0,9 %
„ Kaligehalt „ „ 0,3 „
„ Phosphorsäuregehalt „ „ 0,3 „

in der Trockensubstanz der Wurzeln gefallen war (das Minimum also noch nicht erreicht wurde).

Einige Beispiele werden dies erläutern. Eine Haferwurzel zeigte folgenden Gehalt:

1,24 % Stickstoff,
0,87 „ Kali,
0,18 „ Phosphorsäure.

Hier war lediglich eine Superphosphat- (Phosphorsäure-) Düngung angezeigt, die auch von großem Erfolg war.

Eine andere Haferwurzel enthielt:

0,82 % Stickstoff,
1,23 „ Kali,
0,53 „ Phosphorsäure.

Hier war eine reine Stickstoffdüngung geboten.

Am meisten jedoch wird die Wirkung der einseitigen Düngungen ersichtlich, wenn einzelne Nährstoffe das Mini-

mum erreichen. Eine Haferwurzel, auf sandigem Felde gewachsen, enthielt z. B. 0,51 % Stickstoff,
0,21 „ Phosphorsäure,
0,36 „ Kali.

Hier war die einseitige Stickstoffdüngung (mit reinem Blutmehl) von außerordentlichem Erfolg. Taf. II. giebt die Abbildungen von Durchschnitts-Pflanzen von Gerste und Hafer, die vergleichsweise auf ungedüngtem und mit Blutmehl gedüngtem Boden des erwähnten sandigen Feldes erzogen wurden, nachdem die Blutmehldüngung auf Grund der Wurzelanalyse angewendet worden war.

In einem andern Falle endlich enthielt die Haferwurzel:
0,79 % Stickstoff,
0,10 „ Phosphorsäure.

Hier brachte die Düngung von reinem Superphosphat Hafer von rohrartiger Beschaffenheit hervor.

Je weiter sich dagegen die Gehalte in den Wurzeln von dem Minimum entfernen, desto schwächer wird die Wirkung der entsprechenden Düngungen werden, bis die Düngung gar keinen Effekt mehr bewirkt. Es sind dann die Pflanzennährstoffe in so reichlichen Mengen vorhanden, daß den Pflanzen im Überfluß davon zur Verfügung steht. Hier tritt die Luxuskonsumtion in ihrer reinsten Form auf, wobei also die aufgenommenen Bestandteile eine Wirkung nicht mehr äußern.

Die Bedeutung der künstlichen Düngemittel liegt bekanntlich darin, daß man es durch sie in der Hand hat, den im Minimum im Boden vorhandenen Pflanzennährstoff zu vermehren. Bei der Besprechung der Pflanzennährstoffe ist hervorgehoben worden, daß durch Vermehrung dieses einen Bestandteils im Boden auch die vorhandenen anderen Nährstoffe erst zur Wirkung gelangen können. Durch Ergänzung des im Minimum vorhandenen Nährstoffes wird das Hindernis für die normale Vegetation beseitigt; die zahlreichen anderen Faktoren können erst dann gemeinschaftlich in volle Thätigkeit treten.

In dem Stalldung machen die wirklichen Nährstoffe nur einen geringen Bruchteil aus. Ist der Fall vorhanden, daß ein Boden eine ausgesprochene Armut nur an einem Pflanzennährstoff zeigt, so wird auch die Wirkung des Stalldüngers nur davon abhängig sein, in welchen Mengen er den fraglichen Pflanzennährstoff enthält. Um durch Stalldung ein solches Nährstoffbedürfnis im Boden zu befriedigen, würden ungemein große Mengen dazu gehören. Es enthält beispielsweise 1 Ctr. Stalldung ungefähr 0,2 ℔ Phosphorsäure. Von dem Stalldünger sind also 100 Ctr. oder ca. 5 Fuhren erforderlich, um dieselbe Phosphorsäuremenge in den Boden zu bringen, wie durch 1 Ctr. Superphosphat mit 20 % Phosphorsäure. Da ferner, wie erwähnt, der Stalldung ein Gemenge der sämtlichen Nährstoffe bildet, so würde es sich fragen, ob in Folge dessen nicht andere Nährstoffe in so großen Mengen gleichzeitig dem Boden mit zugeführt werden, daß hierdurch Nachteile entstehen. Der Stalldünger enthält gegen 0,45 % Stickstoff. In obigem Falle würden also neben 20 ℔ Phosphorsäure gleichzeitig 45 ℔ Stickstoff auf das Feld gebracht werden. Ist der Boden nicht stickstoffarm, so ist eine solche Düngung der Phosphorsäuredüngung gegenüber viel zu reichlich und jeder praktische Landwirt weiß, daß er durch zu reichliche Stickstoffdüngung der Gefahr des Lagerns des Getreides in hohem Maße ausgesetzt ist.

Der Stalldung wird immer das billigste und zweckmäßigste Düngemittel bleiben, wenn es sich darum handelt, dem Boden die sämtlichen oder mehrere der Nährstoffe zuzuführen. Eine volle Düngung wird aber durch die künstlichen Düngemittel zu kostspielig. Der Landwirt kann für einzelne Nährstoffe (wie sie die künstlichen Düngemittel enthalten) hohe Preise deshalb anlegen, weil er in den einzelnen Fällen dadurch die anderen im Boden vorhandenen Nährstoffe, also das Bodenkapital, erst ausnutzen kann.

Bei Verwendung der künstlichen Düngemittel kommt hiernach alles darauf an, eine richtige Wahl zu treffen. Im anderen Falle ist das Geld dafür nutzlos angelegt. Große

Summen werden alljährlich in dieser Weise ohne Erfolg verausgabt, sei es, daß man überhaupt ein verkehrtes Düngemittel wählt, sei es, daß man zusammengesetzte Düngestoffe anwendet, wo nur der eine Bestandteil in Wirklichkeit eine Wirkung ausübt. Man soll sich nicht damit trösten, daß schließlich der in den Boden gebrachte Düngstoff früher oder später eine Wirkung doch ausübe; selbst wenn dies der Fall, so gehen unterdeß die Zinsen des zum Ankauf des Düngers verwendeten Kapitals verloren. Die Form und der Preis der künstlichen Düngemittel verlangen, daß der Erfolg davon schon im ersten Jahre die Anwendung lohnt. Ist dies nicht der Fall, so wird man meist mit Verlust gewirtschaftet haben.

Die Analyse der Haferwurzel giebt nach den vorliegenden Untersuchungen Aufschluß darüber, ob und welche künstlichen Düngestoffe anzuwenden sind.

Zeigt die Analyse, daß der Boden überhaupt ein sehr armer ist, daß sich die Nährstoffe sämtlich dem Minimum nähern, so wird der Landwirt mit allen Kräften dahin streben müssen, eine gesteigerte Stalldungproduktion herbeizuführen. Fehlt dagegen nur ein einzelner Nährstoff, so wird die Anwendung künstlicher Düngemittel empfehlenswert sein. Man vermeide die Anwendung gemischter Dünger, wo dem Boden nur ein Nährstoff fehlt.

Bei Armut des Bodens an Stickstoff verwende man folgende Düngemittel:

Blutmehl (reines, ohne Superphosphat),
schwefelsaures Ammoniak,
Chilisalpeter,
Hornmehl (staubfein gepulvert).

Am empfehlenswertesten hiervon wird immer dasjenige sein, in welchem das kg Stickstoff den geringsten Preis besitzt.

Bei Phosphorsäurearmut des Bodens verwende man die Superphosphate (aus Mejillones- oder Bakerguano, Knochenkohle, Knochenasche, aus den verschiedenen Phosphoriten). Man wähle dasjenige Superphosphat, in welchem man das kg löslicher Phosphorsäure am billigsten kauft.

Für Düngezwecke ist es gleichgültig, aus welchem Rohmaterial das Superphosphat bereitet ist. Die Pflanze fragt nicht, woher die Phosphorsäure stammt, sondern nur danach, wieviel Phosphorsäure in der leicht assimilierbaren Form vorhanden ist. Es ist daher ganz unberechtigt, für das kg löslicher Phosphorsäure in dem einen Superphosphat einen höheren Preis anzulegen, als in dem andern. — Als langsamer wirkendes Phosphorsäure-Düngemittel ist noch der präzipitierte phosphorsaure Kalk aus den Leimsiedereien zu erwähnen.

Ist der Boden kalibedürftig, so bilden die Staßfurter Kalisalze, namentlich die s. g. drei- und fünffach konzentrierten Kalisalze ein geeignetes Hülfsmittel.

Bei mangelnder Schwefelsäure im Boden dünge man mit Gips (schwefelsaurem Kalk), oder mit Bittersalz (schwefelsaurer Magnesia) — zweckmäßig ist es jedoch, den Gips nicht direkt auf die Felder zu bringen. In einer rationellen Düngerwirtschaft soll der Gips regelmäßig in kleinen Quantitäten im Stall ausgestreut werden, um sich mit dem Dünger im Düngerhaufen zu mischen. Hier bewirkt er eine Bindung des flüchtigen und wertvollen Ammoniaks.

Fehlt es endlich dem Boden an Stickstoff und gleichzeitig an Phosphorsäure, so sind folgende Düngemittel zu verwenden:

Blutmehl-Superphosphat (s. g. Blutdünger),
Ammoniak- "
aufgeschlossener Peru-Guano,
staubfein gepulvertes Knochenmehl,
aufgeschlossenes "
entfetteter Fisch-Guano.

Der Ankauf von komplizierteren Düngemischungen, wie sie so häufig in den s. g. „Spezialdüngern" ausgeboten werden, ist unvorteilhaft und nicht zu empfehlen.

Die Schätzung des Bodens an vorhandenen assimilierbaren Pflanzen-Nährstoffen.

Die Analyse der Pflanzenwurzeln setzt uns in den Stand,

ein ungefähres Urteil über den relativen Gehalt des Ackerbodens an assimilierbaren Pflanzennährstoffen zu gewinnen.

Je ärmer die Wurzeln an Nährstoffen sind, desto ärmer ist die betreffende Ackerkrume; je reichlicher die normalen Wurzeln Nährstoffe enthalten, desto reicher muß auch der Boden sein, dem sie ihre Nährstoffe entzogen haben. Diese Sätze lassen sich nicht bestreiten, wenn man von abnormen Verhältnissen dabei absieht.

Enthält die Wurzel vom Boden y 0,5 % Stickstoff, eine andere vom Boden z 1,0 %, so folgt aber daraus nicht, daß der Boden z noch ein Mal so viel assimilierbaren Stickstoff enthalten müsse, als y; z muß mehr assimilierbaren Stickstoff enthalten als doppelt so viel.

Ein Boden, der durch eine Normaldüngung von 3 kg pro a 6 kg Korn mehr produziert als ein gleichbeschaffenes nicht gedüngtes Land, produziert durch 4, 6, 8, 10 kg dieses selbigen Düngers nicht 8, 12, 16, 20 kg Korn mehr, sondern weniger. Es ist dies eine alte bekannte Erfahrung. Wodurch erklärt sie sich? Die Produktionsfähigkeit der Pflanzen hat natürlich ihre Grenzen und bei hoch gesteigerten Düngungen wird es schließlich nicht möglich sein, das Produktionsvermögen der Pflanze noch weiter zu steigern. Aber das obige Verhalten zeigt sich auch innerhalb der Grenzen, in welchen eine Steigerung der Leistungsfähigkeit der Pflanzen noch möglich ist.

Eine Andeutung für die Ursache dieser Erscheinungen werden die nachstehenden Beobachtungen liefern.

Die Aufnahme der ernährenden Mineralstoffe aus dem Boden ist abhängig von der Entwickelung des Wurzelsystems der Pflanze. Je größer dasselbe entwickelt ist, desto mehr wird es im Stande sein, dem Boden die Nährstoffe zu entziehen und der Pflanze nutzbar zu machen. Pflanzen mit großem Wurzelsystem (z. B. der Hafer) bedürfen nur geringer Düngungen, um hohe Erträge zu liefern; sie vermögen auch einem verhältnismäßig armen Boden noch Nährstoffe abzuringen. Die Pflanzen mit mäßig entwickelten Wurzeln (Rüben, Mais) be-

dürfen aber eines konzentrierten Nährstoffvorrates im Boden, um sich die nötigen Mineralstoffe aneignen zu können. Die betreffenden Pflanzen verlangen starke Düngungen.

In der Praxis ist es eine allgemein verbreitete Annahme, daß die Entwickelung der oberirdischen Pflanzenorgane der der unterirdischen entspreche. In dieser Allgemeinheit gehalten, ist dieser Satz ein allgemein verbreiteter Irrtum. Richtig ist nur, daß große Pflanzen im Allgemeinen ein großes Wurzelsystem haben. Das Wurzelsystem ist aber nicht proportional der Größe der Pflanzen. Es gehören die Gewichtsbestimmungen von nur zwei verschieden großen Pflanzen dazu, um dies zu erkennen. Das Gewichts-Verhältnis der oberirdischen Pflanzenteile zu den Wurzeln war bei Haferpflanzen, welche vom Verfasser in Wasser kultiviert wurden, folgendes:

absolutes Gewicht von		die oberirdischen Pflanzenteile verhalten sich zu der Wurzel = 100:
Stroh mit Körnern	Wurzeln	
0,378 g	0,131 g	35
1,724 „	0,361 „	21
3,72 „	0,70 „	18
6,9 „	1,11 „	16

Gleiche Verhältnisse ergeben sich aus anderweiten Bestimmungen. E. von Wolff[cc]) bestimmte das Gewicht von Hafer aus Wasser-Kulturversuchen folgendermaßen:

Stroh und Körner	Wurzeln	daraus berechnet sich das Verhältnis der oberirdischen Pflanzenteile zu den Wurzeln = 100:
2,6 g	0,79 g	31
5,2 „	1,42 „	27
7,4 „	1,88 „	26
11,2 „	2,77 „	23
14,5 „	2,97 „	21
16,5 „	3,25 „	20
17,8 „	3,43 „	20

Diese Zahlen wollen besagen: das Wurzelsystem der Pflanzen entwickelt sich relativ um so geringer, je größer und massiger die Pflanzen sind.

Diese Verhältnisse finden sich bei den Pflanzen in noch viel höherem Maße vor, als durch die obigen Zahlen ausgedrückt wird. Untersucht man die Wurzel einer Pflanze, die sich in Folge dürftiger Ernährung nur mäßig entwickeln konnte, so findet man die Wurzelfaser von äußerst feiner, zarter Beschaffenheit; ihre Länge ist dagegen um so beträchtlicher. Die Wurzel sucht gleichsam nach Nahrung in dem Medium, in welchem sie sich befindet, und durchläuft mit möglichst wenig Stoffverbrauch weite Schichten des Bodens, bis sie entweder nährstoffreichere Schichten findet, oder aus Nährstoffmangel zu Grunde geht. Die Pflanze zehrt das vorhandene Bildungsmaterial (die Reservestoffe) auf, zunächst um die Wurzel, also das Organ zu entwickeln, welches neue Nahrung aus dem Boden aufzunehmen bestimmt ist. Die Pflanzenwurzeln dagegen, welche sofort reichlich Nahrung finden, werden gleich von Anfang ihrer Vegetation an massig und stark, gleichwie die oberirdischen Teile, und bilden ein hohes Gewicht. Wollte man ein richtiges Bild von der Wurzelentfaltung dürftiger und kräftiger Pflanzen gewinnen, dann müßte man die Wurzelfläche bestimmen und diese von beiden Pflanzen in Vergleich ziehen. Da ein Gewichtsteil feinfaseriger Wurzeln eine größere Oberfläche giebt, als ein gleicher Gewichtsteil massig entwickelter Wurzeln, so würde sich die überwiegende Wurzelentfaltung der dürftig ernährten Pflanzen in noch viel höherem Maße bemerkbar machen, als dies in den obigen Zahlenreihen hervortritt.

Diese Erscheinung läßt sich bei vergleichenden Kulturen in Wasser schon mit bloßem Auge beobachten. Die in der Tafel III. abgebildeten Pflanzen sind 4 Durchschnittsexemplare 4 Wochen alter Haferpflanzen, welche nach der Keimung noch 12 Tage in 3, 1, $^1/_2$ und $^1/_4$ pro Mille Nährstofflösung vegetiert hatten. Die Pflanzen zeigen sehr deutlich, daß die Wurzeln in den nährstoffreichen Lösungen zwar stärkere Fasern

getrieben haben, als in den nährstoffarmen Lösungen, das gesamte Wurzelsystem ist aber im ersteren Falle wenig entwickelt, fast rudimentär, im letzteren besonders schön ausgebildet.

Legt man ein Samenkorn in einen sehr nährstoffarmen, ein anderes in einen nährstoffreichen Boden, so entwickeln sich die Keimpflänzchen anfänglich in beiden Fällen ziemlich gleichmäßig, auch die Färbung der gebildeten Blattorgane ist die nämliche. Bald aber stockt das Wachstum auf dem unfruchtbaren Boden. Die ganze Thätigkeit und die geringe Menge der bereits in den jungen Pflänzchen produzierten plastischen Stoffe wird von der weiteren Entwickelung der Wurzel in Anspruch genommen; das Wachstum der oberirdischen Pflanzenteile steht fast ganz still, während die Wurzeln sich stetig, wenn auch dürftig, weiter entwickeln, bis die Pflanze abstirbt. Untersucht man jetzt den Boden, so findet man, daß er von zarten dünnen, wenig oder gar nicht verzweigten Wurzeln in langen Strecken durchzogen wird. — Bei den Pflanzen auf reichem Boden findet ein Stillstand nach der Keimzeit nicht statt. — Erst nach Verlauf der Keimperiode kann man einen Unterschied der Bodenarten an dem Aussehen der beiden Pflänzchen erkennen. Während der Keimperiode sind beide Pflanzen ganz gleich.

Das oben ausgesprochene Gesetz läßt sich hiernach auch folgender Maßen ausdrücken: das W u r z e l s y s t e m i s t r e l a t i v u m s o r e i c h l i c h e r e n t w i c k e l t, j e g e r i n g e r e M e n g e n N a h r u n g s m i t t e l d e n P f l a n z e n z u r V e r f ü g u n g s t e h e n.

Gewiß ist dieses Gesetz von der eminentesten Bedeutung für die Ernährung der Pflanzen. Ein nährstoffarmer Boden kann von den Pflanzen deshalb noch ausgenutzt werden, weil hier die Pflanzen mächtigere Wurzelsysteme entfalten, die in der stark vergrößerten Oberfläche mit weit mehr Bodenpartikeln in Berührung gelangen und diese an nutzbaren Nährstoffen besser aussaugen können als gering entwickelte. Bei einem nährstoffreichen Boden ist dies nicht

nötig; hier findet die Pflanze an und für sich schon genügende Nahrung.

Es folgt hieraus mit Notwendigkeit, daß bei den Pflanzen mit gering entwickeltem Wurzelsystem das Bodenkapital nicht so ausgiebig ausgenutzt werden kann, als durch die Pflanzen mit reichlichem Wurzelsystem. Die 2-, 3-, 4-, 5-fache Menge eines vollständigen Düngers kann deshalb nicht den doppelten, 3-, 4- und 5fachen Ertrag geben. Bei den Seite 63 beschriebenen Stickstoff-Ernährungsversuchen stieg der Stickstoffgehalt in den Haferwurzeln nicht proportional der Konzentration der Stickstoffnahrung. Es wurde in der Nährstofflösung gegeben

an Stickstoff pro *l*	1/4,	1,	10 Äquivalent,
die Haferwurzeln enthielten	0,88,	0,91,	2,09 % Stickstoff.

Es verhielten sich somit:

der Stickstoffgehalt in der Nährstofflösung . .	=	1	: 4	:	40,
der Stickstoffgehalt in den Wurzeln	=	1	: 1,04	:	2,38.

Mit der stärkeren Vermehrung des Bodenreichtums hängt eine bessere Ernährung der Pflanze und eine geringere Wurzelbildung derselben unmittelbar zusammen.[14]) Die Pflanzen können deshalb die reichlicher zugeführten Nährstoffe nicht in demselben Verhältnisse mehr aufnehmen und ihre Produktion steigern.

Es folgt aus dieser Darlegung, daß ein Boden, aus welchem die Wurzeln einer Pflanze das doppelte Quantum der Nährstoffe aufnehmen, nicht nur das Doppelte, sondern mehr wert sein muß.

Der absolute Gehalt an assimilierbaren Nährstoffen läßt sich natürlich aus diesen Unterlagen nicht berechnen. Immerhin bieten diese Verhältnisse einen Anhalt, nach welchen man sich ein Urteil über den relativen Gehalt des Bodens an Nährstoffen bilden kann. Sie sind geeignet uns über die Konzentration der assimilierbaren Nährstoffe im Boden Aufschluß zu geben. —

Zur Schätzung des Bodens an assimilierbaren Pflanzennährstoffen kommt ferner noch die Mächtigkeit der Ackerkrume in Betracht.

In dieser Beziehung herrschen sehr einfache Verhältnisse: Bei gleichem chemischen Gehalt der Pflanzen (Haferwurzeln) ist die Menge der assimilierbaren Nährstoffe im Boden proportional der Mächtigkeit der Ackerkrume. Die Haferwurzeln können den nämlichen Gehalt an Nährstoffen zeigen, gleichgiltig ob die Ackerkrume 10 oder 20 oder 30 cm mächtig ist; der Gehalt der Pflanzen wird, wie oben ausgeführt wurde, nur durch die Konzentration der Nährstoffe im Boden beeinflußt. Gleicher Gehalt der Haferwurzel beweist daher nur gleichen Gehalt des Bodens an Nährstoffen im Raume; ist die Ackerkrumenmächtigkeit aber 10, 20 oder 30 cm, so verhält sich sein Raum gleichwie sein Nährstoffvorrat wie 1 : 2 : 3.

Reichliche Erträge sind zunächst durch die Nährstoff-Konzentration im Boden bedingt, die Ausdauer guter Ernten dagegen von der Mächtigkeit der Krume, also von dem Nährstoffvorrat. Ein herabgewirtschafteter verarmter Ackerboden wird am leichtesten wieder in bessere Kultur gebracht werden, wenn die verfügbaren Düngermengen mit der obersten Krume von geringer Mächtigkeit vermischt werden. Man kann dann leichter eine höhere Nährstoffkonzentration im Boden herbeiführen, als wenn man die Düngermengen, welche zur Verfügung stehen, in einer größeren Schicht verteilt.

Der nämliche Effekt, der durch 1 Fuder Stalldung auf einem Boden mit 15 cm Krume erreicht wird, kann bei 30 cm Krumentiefe erst durch 2 Fuder Stalldung erreicht werden, denn in beiden Fällen wird, gleichmäßige Verteilung des Düngers vorausgesetzt, jeder Raumteil in der Krume nur die nämliche Bereicherung an Düngestoffen erfahren. Eine flache Bodenbearbeitung geschieht, wie wir späterhin noch sehen werden, allerdings immer auf Kosten der Sicherheit der Ernten, trotzdem wird eine flache Bodenkultur

überall da von Vorteil sein, wo in einer Wirtschaft, der Feldfläche gegenüber, ein zu geringes Düngerquantum zur Verwendung gelangt. Bei der Tiefkultur, soll sie zum Vorteil werden, ist die Verwendung größerer Düngermassen unbedingtes Erfordernis; im anderen Falle verdünnt man gleichsam die Nährstoffe im Boden, indem man den Dünger mit einer größeren Menge indifferenten Materials mischt.[15]) — Eine Ausnahme von dieser Regel kann nur da stattfinden, wo der Boden selbst eine große natürliche Fruchtbarkeit besitzt.

Es könnte noch die Frage aufgeworfen werden, ob bei der Berechnung des Vorrates an assimilierbaren Pflanzennährstoffen auch der Untergrund mit berücksichtigt werden muß. Wir haben S. 46 ff. gesehen, daß durch die Pflanze nur den Bodenschichten Nährstoffe entzogen werden können, welche mit den Pflanzenwurzeln in innigster Berührung sich befinden. Es kommt bei der obigen Frage also darauf an, ob die Wurzeln unserer Kulturpflanzen sich in wesentlichen Mengen auch in dem Untergrunde entfalten. Dies ist jedoch nicht der Fall. Die Pflanzenwurzeln verbreiten sich in der Hauptsache nur in der Ackerkrume. Unter besonderen Verhältnissen wird es dann und wann möglich sein, daß einzelne Wurzeln in tiefere Bodenschichten eindringen. Dies ist aber doch nur ausnahmsweise der Fall. Würden unsere Kulturpflanzen auch den Untergrund mit ihren Wurzeln durchdringen, dann müßten wir denselben viel humoser finden, als dies der Fall ist. Untersucht man die Schichten der Ackerkrume und des Untergrundes, dann findet sich die Ackerkrume von dem Untergrunde in Folge der dunkleren Färbung stets scharf abgegrenzt. Die dunkle Färbung ist Folge des Humusgehaltes der Ackerkrume. Eine solche scharfe Abgrenzung durch den Humusgehalt würde sich zwischen Ackerkrume und Untergrund nicht bemerkbar machen können, wenn sich die Wurzeln, wenn auch nur in einiger Menge, im Untergrunde entwickelten, denn diese bleiben im Boden, zersetzen sich und bilden eine nicht unwesentliche Menge von Humus.

Die Wurzeln unsrer Kulturpflanzen entwickeln

sich in der Hauptsache in den Bodenschichten, in welchen sie ihre Nahrung vorfinden.

Um diese Thatsache durch das Experiment zu illustrieren, stellte der Verfasser folgenden Versuch an:

1 m hohe Holzkästen wurden mit einem sterilen Sandboden gefüllt. In dem einen Kasten wurde das unterste, in dem zweiten das mittlere und in dem dritten das oberste Drittel mit einer vollständigen Nährstoffmischung gedüngt. Darauf wurden in die Kästen die Samen verschiedener Kulturpflanzen gesäet und die Vegetation der entwickelten Pflanzen beobachtet. Zur Zeit der Blüte wurden die Versuche unterbrochen, die Kästen auseinandergenommen und die Wurzeln sorgfältig durch Wasserabspülung blosgelegt.

Tafel IV. zeigt den Erfolg dieser Versuche. Die Erbsenpflanze Nr. 1 war in dem Kasten gewachsen, dessen Erde im untersten Drittel gedüngt worden war; die Erbsenpflanze Nr. 2 hatte die Düngung in dem mittleren, Nr. 3 in dem obersten Drittel vorgefunden. Mit Kartoffeln wurde nur ein Versuch angestellt (Pflanze Nr. 4) und war in diesem Versuch das mittlere Drittel der Erde gedüngt worden.

Die Versuche ergaben, daß alle Pflanzen ausschließlich nur in den nährstoffreichen Schichten ein kräftiges Wurzelsystem ausbildeten. Dabei ist nicht zu übersehen, daß alle Pflanzen (selbst die angeblich tief wurzelnde Erbse) zunächst in den obersten Schichten ein Wurzelsystem auszubilden versuchten; die Pflanzenexemplare zeigten sämtlich dieses Bestreben; immer fanden sich in den obersten Erdschichten die Wurzelanlagen in größester Menge vor, sie kamen aber hier, wegen der fehlenden Nährstoffe, nicht zur vollen Ausbildung. Nur eine der zum Versuch gezogenen Pflanzen (Buchweizen) hatte nicht das Vermögen, so weitreichende Wurzeln auf Kosten des Muttersamens zu entwickeln, daß dieselben zu den gedüngten Bodenschichten gelangen konnten; die Pflanzen gingen schon ein, bevor die mittlere Schicht erreicht war. Auch den übrigen Pflanzen (s. die Abbildungen) sieht man es auf den ersten Blick an, daß sie um so kräftiger ernährt

waren und um so reichlichere Massen entwickelt hatten, je näher sie die Nährstoffe an der Oberfläche des Bodens vorfanden.

Der Landwirt wird hiernach viel vorteilhafter handeln, wenn er seine verfügbaren Düngermengen ausschließlich nur für die Ackerkrume, nicht auch für den Untergrund — wie es von einigen Seiten empfohlen wird — verwendet.

Für die oben aufgeworfene Frage geht aber aus diesen Versuchen hervor, daß zur Schätzung des Nährstoffgehaltes im Boden ausschließlich nur die Mächtigkeit der Ackerkrume in Betracht kommt. Die Ackerkrume ist es, welche in der Regel durch Düngung künstlich an Pflanzennährstoffen bereichert wird und in welcher durch Verwitterung einzelne Bestandteile der Bodengesteine sich in assimilierbare Pflanzennährstoffe umwandeln. Nur in diesem nährstoffreichen Medium entwickelt sich das Wurzelsystem unserer Kulturpflanzen und schöpft den Bedarf an nötigen Nährstoffen.

b. Eine anderweite Methode zur Bestimmung der relativen Mengen von assimilierbarer Salpetersäure und Schwefelsäure im Boden.

Man kann die gesamten Pflanzennährstoffe in 2 Gruppen teilen. Die erste Gruppe wird von solchen Körpern gebildet, welche von den Pflanzen benutzt werden, um das Material zur Bildung der organischen Körper abzugeben. Hierzu sind zu rechnen: Kohlensäure, z. T. auch Wasser und Sauerstoff, ferner Salpetersäure, Phosphorsäure, Schwefelsäure und nach neueren Untersuchungen wahrscheinlich auch Eisen und Magnesia (letztere beiden zur Chlorophyllbildung). Wir nennen diese Gruppe am zweckmäßigsten „Nährstoffe im engeren Sinne“.

Die zweite Gruppe umfaßt die übrigen Körper, welche man gewöhnlich noch als Nährstoffe bezeichnet. (Kali, Kalk, wahrscheinlich ferner noch Magnesia und nach dem Folgenden gleichzeitig auch die Phosphorsäure, welche letzteren beiden Körper eine doppelte Rolle im pflanzlichen Organismus zu spielen scheinen.) Die Elemente der erstgenannten Körper bilden

keine Bestandteile organischer Substanzen, wenn man von den wenigen organischen Salzen absieht, in welchen Kalium und Calcium bisweilen das basische Element bilden. Die Bedeutung, welche die letztere Gruppe im pflanzlichen Lebensprozesse besitzt, ist erst in neuerer Zeit durch die Untersuchungen von Nobbe, Schröder und Erdmann[dd]) für das Kali, von Josef Böhm[ee]) für den Kalk klar gelegt worden. Durch eine große Reihe von Untersuchungen mußten wir uns erst empirisch die Ueberzeugung von der Notwendigkeit dieser Stoffe für den Lebensprozeß der Pflanzen verschaffen, während die Notwendigkeit der Nährstoff-Elemente der ersten Gruppe selbstverständlich war, sobald man überhaupt die betreffenden Elemente in den organischen Verbindungen nachgewiesen hatte. Zweckmäßig bezeichnet man die Nährstoffe der zweiten Gruppe in ihren für die Pflanzen nutzbaren Verbindungen als „Nährsalze".

Das Verhalten einiger Nährstoffe der ersten Gruppe in den Pflanzen bietet uns nun ein Mittel, um auf den relativen Gehalt der betreffenden Stoffe im Boden zu schließen und die Frage zu beantworten, ob den Pflanzen davon bereits ein Überfluß zur Verfügung steht, so daß eine fernere Düngung mit den betreffenden Nährstoffen auf die Erträge keinen Effekt mehr ausüben wird.

Wenden wir zunächst unsere Aufmerksamkeit zu dem Verhalten einzelner Nährstoffe der ersten Gruppe.

Die Salpetersäure giebt ihren Stickstoffgehalt ab, um die stickstoffhaltigen Körper der Pflanzen zu bilden. Ist die assimilierbare Menge salpetersaurer Verbindungen im Boden nur gering, so wird die Salpetersäure sofort verbraucht, nachdem sie in die betreffenden Pflanzengewebe eingetreten ist; kultiviert man Pflanzen in einem salpetersäurearmen Medium, so kann man zu keiner Zeit und in keinem Organ irgend welche Menge von Salpetersäure nachweisen. Es gelang dem Verfasser z. B. nicht in denjenigen Pflanzen, welche ihm auf dem stickstoffarmen Versuchsboden (Seite 57) zur Verfügung standen, auch nur Spuren von Salpetersäure in den ver-

schiedenen Organen und zu den verschiedenen Entwickelungszeiten der Haferpflanze nachzuweisen.

Hieraus folgt, daß jede wesentliche Menge von Salpetersäure, die in den Pflanzen am Ende der Vegetation nachgewiesen wird, für einen Beweis von Luxus-Konsumtion an Salpetersäure gelten kann. Hierbei kann eine zeitweise Luxuskonsumtion derart stattfinden, daß zu irgend einer Zeit der Salpetersäuregehalt in den Pflanzen höher ist, als bei der abgeschlossenen Vegetation, also zur Zeit der Reife. Hier wird die zeitweise im Überfluß aufgenommene Salpetersäure schließlich doch noch in stickstoffhaltige organische Substanz übergeführt. In diesem Falle wird die zur Zeit der Reife vorgefundene Salpetersäuremenge für die Beurteilung am entscheidendsten sein.

Salpetersäurehaltig hat man besonders diejenigen Kulturpflanzen gefunden, welche in der Regel stark gedüngt werden (Tabak, Runkel- und Zuckerrüben u. s. w.), doch sind es naturgemäß alle diejenigen Pflanzen, welche zufällig oder künstlich auf salpeterreichem Boden wachsen. Wulfert**) untersuchte zahlreiche Unkräuter und fand in ihnen mehr oder weniger Salpetersäure; dieselbe Pflanzenart (Carduus crispus) enthielt z. B. in einem Falle 10,4 %, im andern Falle 1,4 % salpetersaures Kali, je nach dem Boden, in welchem die Pflanzen wurzelten.

Es fragt sich nun, welches Quantum von Salpetersäure in den Pflanzen zur Zeit der Reife bereits vorhanden sein muß, wenn eine weitere Düngung mit Salpeter oder stickstoffhaltigen Düngemitteln unwirksam sein soll. Die Frage ist zur Zeit noch nicht abgeschlossen. Aus Versuchen, welche der Verfasser aber bisher bei stickstoffarmen Bodenarten anzustellen in der Lage war, ging hervor, daß eine Ansammlung von Salpetersäure in den reifen pflanzlichen Geweben bei den Halmgewächsen erst konstatiert werden kann, wenn dem Boden beträchtliche Mengen Salpeter zugeführt worden sind; ist dann in der Pflanze Salpetersäure aber überhaupt erst in bestimmten Mengen vorhanden, dann gewinnt sie sehr rasch

die Bedeutung eines in Luxus konsumierten Bestandteils in dem obigen Sinne.[16]) Beträgt der Salpetersäuregehalt in dem Stroh unserer Halmgewächse 0,01 % der Trockensubstanz und darüber, so ist nach den dem Verfasser vorliegenden Zahlen bereits eine Luxusaufnahme von Salpetersäure wahrscheinlich, so daß eine weitere Salpeter- oder Stickstoffdüngung überhaupt keinen Effekt mehr zeigt. Doch müssen weitere Versuche diese Grenze noch genauer bestimmen. — Bei den Rüben wird wahrscheinlich diese Grenzzahl höher anzunehmen sein. Direkte Versuche mit letzterer Pflanze konnten bisher von mir noch nicht ausgeführt werden.

Schwefelsäure. Ganz wie die Salpetersäure, so verhält sich auch die Schwefelsäure (wenigstens bei den Halmgewächsen). Indem sie in den (Halm-) Gewächsen lediglich dazu dient, den Schwefel für die schwefelhaltigen organischen Körper zu liefern, wird sie reduziert und ist sodann in den Pflanzen nicht mehr als Schwefelsäure nachzuweisen. Ist das Schwefelsäurebedürfnis befriedigt, dann ist ein Mehr davon für die Pflanzen überflüssig. Es erklärt sich hieraus, daß in manchen Pflanzenteilen kaum Spuren[88]) dieses für sie unentbehrlichen Nährstoffs gefunden werden konnten, ohne daß die Vegetation der Pflanzen deshalb eine verminderte war; die Pflanzen verbrauchten hier eben die ihnen gebotenen Schwefelsäuremengen vollständig und diese genügten dem Bedürfnisse. Bis jetzt kann die Behauptung aufgestellt werden, daß Haferpflanzen, welche in dem Stroh 0,03 % und mehr (durch salpetersäurehaltiges Wasser aus der fein gepulverten Trockensubstanz ausziehbare) Schwefelsäure enthalten, durch Düngung mit schwefelsäurehaltigen Stoffen keine Vermehrung ihres Erntegewichtes ergeben. — Wahrscheinlich ist aber diese Zahl noch zu hoch und es wird bereits bei einem geringeren Gehalte eine Luxuskonsumtion vorhanden sein.

Phosphorsäure. Es liegt die Annahme nahe, daß sich die Phosphorsäure ganz ähnlich wie die Salpeter- und Schwefelsäure verhält; insofern sie in der Pflanze reduziert wird und phosphorhaltige organische Stoffe bildet. Würde dies der Fall sein, dann dürften solche Pflanzen,

welche an Phosphorsäure Mangel leiden, keine oder nur geringe Mengen Phosphorsäure als solche enthalten, sondern diese müßte in dem genannten Falle vollständig oder fast ganz verarbeitet worden sein. Versuche, welche in dieser Hinsicht von mir angestellt wurden, lehrten jedoch bald, daß die Phosphorsäure in ihrer Bedeutung als Pflanzennährmittel nicht ganz mit der Salpeter- und Schwefelsäure verglichen werden darf; die Phosphorsäure läßt sich nämlich durch schwach salzsäurehaltiges Wasser fast vollständig aus fein gepulverten Pflanzensubstanzen extrahieren. Dabei ist es gleichgültig, ob der Stickstoffgehalt ein hoher oder geringer ist. Es betrug nämlich in 100 T. Trockensubstanz verschiedener Haferwurzeln

	die Phosphorsäure			
	in Sa.	durch salzsäurehaltiges Wasser extrahierbar	nicht extrahierbar	der Stickstoffgehalt
aus stickstoffreich. Boden	0,309	0,267	0,042	1,278 T.
aus mäßig mit Stickstoff gedüngtem Boden a.	0,175	0,127	0,048	0,640 „
b.	0,274	0,193	0,081	0,735 „
aus stickstoffarmem Boden, mit Superphosphaten gedüngt a.	0,356	0,300	0,056	0,538 „
b.	0,346	0,332	0,014	0,514 „

Hieraus folgt zunächst, daß die verarbeitete (reduzierte) Phosphorsäure in den Pflanzen in keiner Beziehung zu den stickstoffhaltigen Substanzen steht. Denn sie steigt und fällt nicht mit dem Gehalt an stickstoffhaltigen Stoffen in den Haferwurzeln.[17]). Ferner folgt aber hieraus gleichzeitig, daß die reduzierte Phosphorsäuremenge nur einen Teil derjenigen beträgt, welche (für die Haferwurzel) als Minimum erkannt wurde. Dieses Minimum beträgt (s. Seite 67) 0,08—0,10 % der Trockensubstanz; nur in dem einen Falle enthielt die Haferwurzel 0,081 % verarbeitete Phosphorsäure, im Durchschnitt blieb aber der Gehalt weit unter dieser Zahl und sank in einem Falle sogar bis auf 0,014 %.

Diese Ergebnisse drängen zu der Annahme, daß die

Phosphorsäure in der Pflanze nicht blos die Rolle eines materialliefernden Nährstoffs spielt, sondern daß sie gleichzeitig auch als solche (in nicht reduziertem Zustande) für die physiologischen Prozesse in der Pflanze (als Nährsalz) eine Bedeutung besitzt; es läßt sich daher die Folgerung, welche man nach Obigem aus den Ergebnissen der Salpeter- und Schwefelsäurebestimmungen ziehen kann, nicht auch an die Ergebnisse der Bestimmungen der Phosphorsäure knüpfen.

Zur Bestimmung der im Boden verfügbaren Mengen Salpeter- und Schwefelsäure besitzt aber die oben beschriebene Methode große Schärfe und Sicherheit; sie wird den Untersuchungen der Wurzeln häufig vorgezogen werden können, da die Methode zunächst wenigstens bei den sämtlichen Halmgewächsen angewendet und als Untersuchungsmaterial (unberegnetes) Stroh verwendet werden kann, wovon größere Quantitäten und in reinerem Zustande zur Verfügung stehen werden, als von der Wurzelsubstanz.

c. Die empirische Ermittelung des Nährstoffbedürfnisses im Boden.

Dieser Weg war bisher der einzige, auf welchem der praktische Landwirt sich Aufschluß über das Nährstoffbedürfnis seiner Bodenarten verschaffen konnte. Die Ermittelung geschieht durch den direkten Düngungsversuch.

Die Resultate zahlloser Düngungsversuche sind in der Litteratur niedergelegt, und trotzdem sind die Versuche noch lange nicht in der Anzahl ausgeführt worden, wie dies im eigenen Interesse jedes Landwirts notwendig ist. Die Ergebnisse der Düngungsversuche haben nur ein sehr beschränktes allgemeines Interesse. Die Wahrnehmungen, die hierbei gemacht werden, sind oft schon für den Nachbar ohne Bedeutung. Aber eben deshalb muß jeder Landwirt, sobald er nicht den in den vorhergehenden Kapiteln angedeuteten Weg der chemischen Untersuchung beschreiten will, selbst Versuche anstellen, um sich über das Nährstoffbedürfnis seines Bodens Aufschluß zu verschaffen.

Zur Anstellung von Düngungsversuchen ist aber eine genaue Sachkenntnis erforderlich; viele Düngungsversuche bleiben ohne jedes Resultat, weil sie fehlerhaft angestellt werden. Jeder Versuch muß eine einfache, klare Frage sein, die man an den Boden richtet, und in der Weise eingeleitet werden, daß eine Antwort erzielt werden muß. Die verschiedenartigen in dem Handel vorkommenden Düngemittel können daher nicht ohne Weiteres auf ihre Düngewirkung geprüft werden, es ist vielmehr aus ihnen eine zweckmäßige Auswahl zu treffen, und die Düngemittel sind einzeln und in zweckentsprechenden Mischungen systematisch in Wirksamkeit zu setzen.

Die Fragen, welche wir vermittelst der Düngungsversuche zu lösen im Stande sind, sind im Wesentlichen die beiden folgenden:

1. Welches Nährstoffbedürfnis besitzt der Ackerboden? (Fehlt ihm nur ein, oder fehlen mehrere Pflanzennährstoffe? Und welche?)

2. In welchen Düngemitteln giebt man dem Boden die fehlenden Pflanzennährstoffe am zweckentsprechendsten?

Es ist selbstverständlich, daß die erste Frage bereits gelöst sein muß, ehe man die zweite Frage in Angriff nimmt. Aber gerade bei Stellung der ersten Frage herrscht oft die größte Unklarheit. Was nützt es z. B. wenn man vergleichsweise Peruguano und Knochenmehl und Ammoniak-Superphosphat anwendet, und prüft, ob das eine oder andere besser wirkt, wenn man überhaupt noch nicht weiß, ob der Boden nur Phosphorsäure oder nur Stickstoffdüngung bedarf, oder ob wirklich beide Nährstoffe nötig sind, wie sie in den drei angeführten Düngestoffen gegeben werden? Man hat zunächst ausschließlich einseitige Düngungen für sich und in systematischen Mischungen anzuwenden, um das Bedürfnis zu erfahren.

In Nachstehendem mögen einige Grundlagen für Düngungsversuche gegeben werden.

1. Am häufigsten wird nur in Frage kommen, ob Stickstoff- oder Phosphorsäuredüngung notwendig, oder Beide. Man benutze hierzu

a. als Stickstoffdünger: schwefelsaures Ammoniak (man berücksichtige, daß das schwefelsaure Ammoniak außer der Stickstoffverbindung auch noch Schwefelsäure, also ein anderes Pflanzennährmittel enthält, welches event. eine Wirkung erzielt), Blutmehl oder Chilisalpeter. (Der Chilisalpeter ist bei den Düngungsversuchen für die angegebenen Zwecke mit Vorsicht anzuwenden und am besten ganz zu vermeiden. Der Chilisalpeter wirkt nämlich nicht blos düngend, indem er den Boden an assimilierbarer Stickstoffverbindung bereichert, sondern gleichzeitig auch aufschließend, d. h. er bewirkt eine Lösung anderer schwerlöslicher Nährstoffe im Boden. — Das Resultat des Versuchs wird daher bei Anwendung von Salpeter getrübt, da man nicht weiß, ob ein etwaiger Erfolg der Salpeterdüngung auf Rechnung der Stickstoffzufuhr, oder der „aufschließenden" Fähigkeit des Salpeters zu setzen ist.)

b. als Phosphorsäuredünger: die gewöhnlichen reinen Superphosphate. Man beachte aber, daß die Superphosphate sämtlich Gips (schwefelsauren Kalk) enthalten, und auch hierdurch bei etwaigem Mangel im Boden Wirkungen zeigen können. Um sich also ein klares Urteil zu verschaffen, muß außerdem Gips noch für sich angewendet werden.

c. sind die benutzten stickstoff- und phosphorsäurehaltigen Düngemittel gemischt anzuwenden (zweckmäßig jedes in der gleichen Menge als je für sich).

Der Erfolg müßte sich folgendermaßen stellen: Angenommen es fehlte dem Boden an Stickstoff, dann müßten a und c annähernd den gleichen Ertrag liefern; oder es fehlte dem Boden Phosphorsäure, dann müßten b und c den gleichen Ertrag liefern. Würden die Bestandteile des Gipses (Schwefelsäure mit Kalk) für den Boden nur von Wirksamkeit sein, dann müßte sich dies nicht allein in dem direkten Versuch, sondern auch in b und c aussprechen. Hat der Boden

Mangel sowohl an Phosphorsäure als auch an Stickstoff, dann könnte nur c den höchsten Ertrag liefern.

2. Ist dagegen die Möglichkeit vorhanden, daß dem Boden neben Stickstoff und Phosphorsäure auch noch Kali oder einer der genannten drei Bestandteile fehlt, dann müssen die Versuche anderweitig angeordnet werden. Als Kalidünger sind für solche Versuchszwecke die s. g. dreifach oder besser fünffach konzentrierten Kalisalze zu verwenden. Die Anlage solcher Versuche kann nach folgendem Schema erfolgen:

a. Kali (fünffach konzentr. Kalisalz),
b. Gips (als Bestandteil der Superphosphate),
c. Phosphorsäure (Superphosphate),
d. Stickstoff (Blutmehl),
e. Kali + Phosphorsäure,
f. Kali + Stickstoff,
g. Phosphorsäure + Stickstoff,
h. Phosphorsäure + Stickstoff + Kali.

Wenn sonst zu den Versuchen ein geeignetes (gleichmäßiges) Ackerstück gewählt wird, dann müssen diese Versuche die Frage beantworten, ob dem Boden Kali, die Bestandteile des Gipses (Kalk und Schwefelsäure), ferner ob Phosphorsäure, Stickstoff allein oder welche gemeinschaftlich fehlen. — Die Düngemittel sind bei solchen Versuchen, sowohl wenn sie einzeln, als auch wenn sie in Mischung gegeben werden, in den gleichen Quantitäten zu benutzen, da hierdurch die Schlußfolgerungen aus den Versuchen sehr erleichtert werden. Denn ist z. B. nur das Kali für den Boden von Wert, dann müssen die Parzellen a, e, f und h alle annähernd gleichmäßige Erträge liefern; würde jedoch der Ertrag der Parzelle e (und demzufolge auch Parzelle h) ein höherer sein, als a, dann wäre dies ein Beweis, daß neben dem Kali dem Boden auch noch Phosphorsäure fehlt.

Ist nun das Nährstoffbedürfnis eines Bodens auf diese Weise ermittelt, dann kann zur Beantwortung der zweiten Frage geschritten werden, ob nämlich der betreffende Nähr-

bestandteil in dieser oder jener Form am zweckmäßigsten (mit dem größten Erfolg und mit den geringsten Kosten) gegeben wird. Vergleichsweise können in dieser Hinsicht durch den Feldversuch und durch Preisvergleichung geprüft werden:

a. Kalisalze:

drei- oder fünffach konzentriertes Kalisalz, schwefelsaures Kali, die Staßfurter Düngesalze (sämtlich ihrem Gehalte nach in entsprechenden Mengen).

b. Phosphorsäure:

die verschiedenen Superphosphate (unter Berücksichtigung der Gehalte an löslicher Phosphorsäure), der präzipitierte phosphorsaure Kalk, Superphosphate mit der s. g. zurückgegangenen Phosphorsäure.

c. Stickstoff:

Blutmehl, Salpeter, schwefelsaures Ammoniak, Hornmehl, Leimsubstanzen.

d. Phosphorsäure **und** Stickstoff:

Mischungen aus den sub b und c genannten Stoffen, ferner aufgeschlossenen Peruguano, Fischguano, Knochenmehl.

Immer ist der Gehalt der Düngemittel genau in Betracht zu ziehen.

---

4. Die Ermittelung des absoluten Gehalts der Pflanzennährstoffe im Boden.

Wenn es dem praktischen Landwirte in erster Linie daran gelegen sein muß, zu erfahren, welche Mengen assimilierbarer Nährstoffe ein Boden enthält, so muß den Besitzer eines Feldes ferner die Frage interessieren, welchen Gehalt der Boden an Nährstoffen in Summa (in assimilierbarem und unlöslichem Zustande) besitzt.

Der gesamte Gehalt der Nährstoffe im Boden ist durch die chemische Analyse festzustellen.

Ergiebt die chemische Untersuchung, daß der absolute Gehalt des Bodens an mineralischen Nährstoffen ein reichlicher ist, so wird der Boden in dem praktischen Betriebe ganz anders behandelt werden können, als ein Boden mit geringem Gehalte.

Im letzteren Falle muß stets eine Zufuhr von außen stattfinden. Im ersteren Falle kommen aber andere Verhältnisse in Betracht.

Ein Boden, der nach den Ergebnissen der chemischen Untersuchung absolut reich an einzelnen Nährstoffen ist, wird in sehr vielen Fällen auch genügende Mengen in assimilierbarer Form enthalten. Die stetig fortschreitende Zersetzung der Mineralien und organischen Substanzen, die Verwitterung, wird meistens auch genügende Mengen davon in eine für die Pflanzen nutzbare lösliche Form überführen. Doch ist dies nicht die Regel und darf nicht unbedingt gefolgert werden. Bekanntlich hat gerade die Erfahrung, daß die chemische Analyse des Bodens über die nutzbaren Nährstoffe im Boden keinen Aufschluß giebt, den Werth der chemischen Bodenanalyse für die Praxis so sehr beschränkt. In dieser Frage muß die Pflanzen- resp. Wurzelanalyse den nötigen Anhalt liefern.

Es können nun für die einzelnen Nährstoffe im Boden folgende drei Fälle eintreten:

1. Der absolute Gehalt an Nährstoffen im Boden ist ein hoher, die Pflanzenwurzeln zeigen gleichzeitig einen hohen Gehalt.

Hier wird der Landwirt in der günstigen Lage sein, die weitere Zersetzung der Bodengesteine dem normalen Verlauf der Verwitterung überlassen zu können. Diese wird einen stetigen Fluß der Quelle für die betreffenden Nährstoffe bewirken. Je nach dem Gehalt, den die chemische Analyse feststellte, wird der Landwirt für eine Bereicherung des Bodens erst früher oder später Sorge zu tragen haben. Viele Bodenarten enthalten ihrer Zusammensetzung nach an einzelnen Nährstoffen genug, um Jahrtausende hindurch befriedigende Ernten zu liefern. Es wäre Thorheit, wollte man in solchen Fällen

für einen ängstlichen Ersatz der durch die Ernten dem Boden entzogenen mineralischen Nährstoffe besorgt sein.

2. Der absolute Gehalt des Bodens ist ein hoher, der Gehalt der Pflanzenwurzeln aber ein geringer.

In diesem Falle kommt es wesentlich darauf an, die unzersetzten, unlöslichen Bodenbestandteile in solche Formen überzuführen, in welchen sie für die Pflanzen nutzbar sind. Der Landwirt hat verschiedene Mittel in der Hand, dies zu bewirken.

Der genannte Fall wird vorzugsweise eintreten können in Bezug auf Kali und Phosphorsäure. Manche kalihaltigen Silikate zersetzen sich sehr schwer; auf die so äußerst schwere Zersetzbarkeit der (phosphorsäurehaltigen) Apatite wurde bereits auf Seite 39 hingewiesen.

Behandelt man kalireiche Böden mit Lösungen von schwefelsaurem Kalk (Gips), schwefelsaurer Magnesia (Bittersalz), Chilisalpeter oder mit Chlornatrium (Kochsalz), so läßt sich durch diese Salze eine viel größere Menge von Kali in Lösung überführen, als wenn man den Boden in sonst gleicher Weise mit reinem Wasser behandelt. Es muß angenommen werden, daß hierbei eine chemische Einwirkung der Bestandteile obiger Salze auf das kalihaltige Gestein des Bodens stattfindet. Behandelt man den Boden mit Gips, so wird ein Teil des löslichen Kalks unlöslich und annähernd in äquivalentem Gewichtsverhältnis geht für den unlöslich gewordenen Kalk Kali in Lösung über. Ähnliches findet bei der Behandlung des Bodens mit einer Lösung von schwefelsaurer Magnesia mit der Magnesia statt; ein Teil der letzteren wird unlöslich und bewirkt in annähernd äquivalenten Mengen das Löslichwerden von Kali. Die genannten Salzlösungen wirken daher energisch auf die Zersetzung des Gesteins ein und bewirken eine rasche Umbildung.

Diese Eigenschaften kann der Landwirt benutzen, um das unlösliche Kali des Bodens in einen löslichen und für die Pflanzen assimilierbaren Zustand überzuführen. Eine Düngung von Gips, Bittersalz wird daher den Boden nicht

allein an den Bestandteilen der genannten Salze bereichern, sondern auch gleichzeitig bewirken, daß die Pflanzen größere Mengen von Kali aufzunehmen im Stande sind. Verschiedene Düngungsversuche bestätigen dies. Klee, der mit Gips und Bittersalz gedüngt wurde, bewirkte da, wo nicht an und für sich schon eine Luxuskonsumtion von Kali stattfand, eine erhöhte Kaliaufnahme.

Auch das Kochsalz wirkt ganz ähnlich wie Gips und Bittersalz und es erklärt sich hierdurch, daß Kochsalz — aus Teilen bestehend, welche die Pflanzen z. T. gar nicht bedürfen (Natrium), oder an welchen sie doch kaum Mangel leiden (Chlor) — als Düngemittel bisweilen eine Wirkung zeigte. Seine Wirkung aber bestand nicht darin, daß es dem Boden pflanzenernährende Stoffe zuführte, sondern daß es den Boden aufschloß, also Bestandteile der bodenbildenden Gesteine in Lösung überführte. (Nach Treutler[hh]) besitzt das Knochenmehl eine ganz ausgezeichnet lösende Kraft auf das vom Boden absorbierte Kali.)

Die Phosphorsäure kann in ganz ähnlicher Weise wie das Kali durch Düngung von Kalisalzen, sowie durch Chilisalpeter und Kochsalz löslich gemacht werden. Außerdem weiß man, daß die Apatite, welche in den meisten Fällen wohl die phosphorsäureliefernden Mineralien im Boden sein werden, durch kohlensäurehaltiges Wasser stark angegriffen, sowie durch humin- oder quellsaures Ammoniak oder Kali (unzersetzt nach Senft[ii]) gelöst werden können. Die Unterbringung von frischer Torf- und Moorerde wird daher in der Praxis zur Löslichmachung der Phosphorsäure im Boden benutzt werden können, indem die Torf- und Moorerde als sich zersetzende Pflanzensubstanz fortwährend eine Quelle für Kohlensäure bildet und ihre Huminsäure direkt lösend wirken wird.

Auch das Brennen des Bodens ist ein Mittel, die unlöslichen Mineralbestandteile des Bodens in lösliche überzuführen. Durch die Erhitzung wird eine rasche Oxydation gewisser Metalle und außerdem Umsetzungen der Bestandteile in den Gesteinen bewirkt und diese geben Veranlassung zu

einem rascheren Zerfall der Gesteine. So nützlich das Brennen des Bodens in diesem Sinne sein kann, so wenig empfehlenswerth ist es aber in den meisten Fällen aus anderen Gründen. Durch das Brennen erfolgt gleichzeitig eine Zerstörung des für die Ackerkrume in physikalischer Beziehung so wichtigen Humus, und mit ihm gehen die Stickstoffverbindungen des Bodens verloren, die für den Landwirt zur Zeit den größten Preis als Handelsartikel besitzen.

Fernere Mittel zum Aufschließen der festen unlöslichen Bestandteile bildet die Behandlung des Bodens mit verdünnter Schwefel- oder Salzsäure. In einer Verdünnung wie 1 : 1000 auf den Acker gebracht bringen dieselben bisweilen große Wirkungen hervor.

Das landübliche Mittel, die Verwitterung des Bodens zu begünstigen, bildet aber eine zweckentsprechende Bodenbearbeitung, in Verbindung mit Zuführung von organischen Substanzen (Stalldünger), die durch ihre Zersetzung stetig Kohlensäure bilden und durch ihre physikalische Beschaffenheit den Boden feucht erhalten.

Solche Bodenarten, bei welchen eine Aufschließung der unlöslichen Bodenbestandteile notwendig ist, sollten nie in glatter Oberfläche (geeggt, gewalzt) den Winter über liegen bleiben; durch rauhe Ackerbearbeitung sollte im Gegenteil dahin gestrebt werden, den Boden in möglichst großer Oberfläche den Einwirkungen der Atmosphäre auszusetzen. Durch zweckmäßige Bearbeitung des Bodens kann die Oberfläche mehr als verdoppelt werden. Hierdurch werden aber den atmosphärischen Einflüssen größere Angriffspunkte geboten. Die Verwitterung wird künstlich gesteigert. Auch die Einwirkung der Fröste, dieses wichtigen Faktors für die Verwitterung, wird auf diese Weise künstlich gesteigert werden können.

Was endlich die Stickstoffverbindungen des Bodens betrifft, so ist die Ansammlung größerer Mengen davon nur in den Torf- und Moorböden denkbar.

Die stickstoffhaltigen Körper der Torfmoore zeigen ein

ganz eigentümliches Verhalten bezüglich ihrer Zersetzbarkeit und verhalten sich gerade umgekehrt wie die stickstoffhaltigen Stoffe unter anderen Umständen. Unter allen organischen Verbindungen zersetzen sich diese Stoffe (Proteïnstoffe) in der Regel am leichtesten; sie sind es, welche den Verwesungs- und Fäulnisprozeß einleiten. In dem Torfboden aber sind die Proteïnkörper gerade diejenigen, welche am längsten unzersetzt bleiben. Untersucht man den Stickstoffgehalt der verschieden alten Schichten eines und desselben Torflagers, so findet man nämlich die überraschende Thatsache, daß die hellen, noch frischen, oder nur schwach zersetzten Schichten den geringsten, die dunkeln, also stark humifizierten Schichten den größten Prozentgehalt an Stickstoff aufweisen. Diese Thatsache läßt sich nur dadurch erklären, daß ein Teil der Kohlenstoffverbindungen der Torfmoose zu Kohlensäure und Wasser sich zersetzen, während die Proteïnsubstanzen konserviert bleiben. —

Die Stickstoffverbindung der Torfmoore ist nachweislich eine Art von Proteïn. Salpetersäure läßt sich in diesen Böden chemisch nicht nachweisen; Ammoniak findet sich nur in Spuren.

Dies eigentümliche, den sonstigen Eigenschaften entgegengesetzte Verhalten der Proteïnkörper im Torfboden ist zur Zeit noch nicht aufgeklärt. Vermutlich besitzen die Humussäuren, vielleicht auch der in dem Torfboden häufig in großen Mengen vorkommende Gips eine konservierende Eigenschaft für diese Proteïnsubstanzen. Es ist interessant, daß die Torfmoore als ein Reservoir für die Stickstoffverbindungen (aus der Atmosphäre?) angesehen werden können. Manche Torfböden enthalten mehr als 3 % Stickstoff.

Um die Stickstoffverbindungen der Torfmoore in eine für die Pflanzen nutzbare Form überzuführen, ist es vor allen Dingen nötig, das Wasser der Torfmoore, wenigstens aus den obersten Schichten, zu entfernen. Sobald die Luft in dem Boden nicht durch das stagnierende Wasser verdrängt ist, sobald der Boden durchlüftbar wird, erfolgt auch eine bessere Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs auf die

organischen Bestandteile des Torfs. Bei der Rimpau'schen Methode der Dammkultur, welche so außerordentliche Erfolge in der Löslichmachung des Torfstickstoffs aufweist, wird der Wasserspiegel um mehrere Fuß unter die Oberfläche gesenkt und die Torfmoorschicht mit Sand überfahren. Durch dies Verfahren wird die oberste Schicht porös, die Luft kann eindringen und der atmosphärische Sauerstoff in Thätigkeit treten. — Indem man ferner die entwässerte Torfschicht mit Kalk (Ätzkalk, kohlensaurem Kalk, Mergel) oder Holzasche mischt, wird man die Bildung von Ammoniak resp. Salpetersäure aus den stickstoffhaltigen Stoffen des Torfes, wie überhaupt die Zersetzung des Torfbodens beschleunigen.

3. Endlich kann der absolute Gehalt des Ackerbodens an Nährstoffen verhältnismäßig gering, der Gehalt in der Pflanzenwurzel dagegen verhältnismäßig sehr hoch sein.

Dies würde ein Beweis sein, daß die Vegetation — und in diesem Falle müßte die Vegetation des Feldes eine kräftige sein — durch forcierte Düngung künstlich gesteigert worden war. Dieser Fall könnte z. B. eintreten, wenn ein Verkäufer seines Guts den Feldern mit Aufwand eines großen Dünger-Kapitals ein kräftigeres Aussehen verleihen wollte, als dies der natürlichen Fruchtbarkeit entspricht. Die Untersuchung der Pflanzen und des Bodens wird eine Täuschung für den Käufer verhüten.

---

5. Die Ermittelung der Bestandteile im Boden, welche den Pflanzen schädlich sind.

Es giebt nur wenige Bestandteile im Boden, welche als schädlich für die Vegetation hier erwähnt werden müssen. In geringem Maße können Pflanzen selbst viele Gifte aufnehmen, ohne daß sie dadurch Schaden erleiden. In sonst gesunden Pflanzen sind Baryt, Kupfer und selbst Arsen nachgewiesen worden. Knop fand z. B. im Weizen, der auf den

fruchtbaren Anschwemmungen des Nils gewachsen war, kleine Mengen von Baryt.

Am gefährlichsten für die Pflanzen ist das Schwefeleisen (Schwefelkies) im Boden; dasselbe findet sich namentlich in Torf- und gewissen Thonböden (z. B. in den dem Lias angehörenden bläulichen Thonlagern). Die bei der Zersetzung des Schwefelkies sich bildende Säure (schweflige Säure) sowie der gleichzeitig auftretende Schwefelwasserstoff wirken tödlich für die Pflanzen. Solche Böden können nur schwierig in gesunde Kulturböden umgeschaffen werden. Um dies zu bewirken, muß man namentlich Sorge für gute Durchlüftung des Bodens tragen. (Entwässerung, zeitweise Umarbeitung.) Hierdurch wird eine vollständige und rasche Oxydation des Schwefeleisens hervorgerufen und damit die schädliche Ursache beseitigt. Die schweflige Säure oxydirt sich zu Schwefelsäure und diese wird allmählich, soweit sie sich nicht mit Kalk zu Gips verbindet, durch Regen in den Untergrund gewaschen, da sie vom Boden nicht absorbiert wird. Außerdem wird alles, was die chemische Aktion im Boden erhöht, zur Besserung dieser Böden beitragen; namentlich ist die Aufbringung von Ätzkalk zu empfehlen. Das Tiefackern solcher Bodenarten ist nur mit der größten Vorsicht vorzunehmen.

Eine fernere chemische Ursache für die Unfruchtbarkeit eines Bodens kann durch einen zu hohen Gehalt an löslichen Salzen bedingt sein. Hier ist namentlich das Kochsalz zu erwähnen, welches sich in manchen Böden der Küstenländer findet, die von hohen Fluten überschwemmt wurden, oder in durch Stollen- und Salinenwasser überfluteten Ländereien. Nach den Untersuchungen Völkers[kk]) soll ein Ackerboden gänzlich unfruchtbar werden, wenn er mehr als 0,1 % Kochsalz enthält. — Nach Bardeleben[ll]) ist ein Wasser, welches $1/2$ % und mehr Kochsalz enthält, für die Wiesenkultur schädlich. Zu dem gleichen Resultat führten die Untersuchungen König's[mm]).

Um solche Bodenarten zu bessern und überhaupt be-

nutzen zu können ist vorgeschlagen worden, sie mit Pflanzen zu bebauen, welche den Salzgehalt vertragen können. Namentlich würde sich hierzu Kraut (Kohl) eignen (nicht aber Rüben!); ferner wurde Gerste (wegen der flachen Bewurzelung) event. auch Raps empfohlen. — Nach den Untersuchungen von Ad. Mayer[nn]) sind für die durch Seewasser beschädigten Ländereien Stickstoff-Düngungen (Salpeter) besonders wirksam, ganz unwirksam dagegen Kalk- und Superphosphatdüngungen. —

Gewiß sehr häufig werden die mit salzhaltigem Wasser überfluteten Ländereien nicht in Folge ihres Salzgehaltes unfruchtbar sein. Ich hatte Gelegenheit Ländereien der Ostseeküste zu untersuchen, welche, bevor noch schützende Dämme gebaut waren, häufig durch Ostseewasser überflutet wurden; die letzte Überschwemmung hatte vor 7 Jahre stattgefunden. Das Land war sehr unfruchtbar geworden und sollte dies seines Salzgehaltes wegen sein. Die chemische Prüfung ergab jedoch in den betreffenden Böden kaum Spuren von Kochsalz. Durch das Regenwasser war der Salzgehalt vollständig aus der Ackerkrume ausgewaschen worden. Weitere Untersuchungen ergaben nun, daß das salzhaltige Meerwasser dadurch so schädlich gewirkt, daß es den Boden förmlich ausgewaschen hatte. Durch Untersuchung von Eichhorn[oo]), Frank[pp]), Peters[qq]) und Heiden[rr]) weiß man, daß kochsalzhaltiges Wasser dem Boden beträchtlich größere Mengen pflanzlicher Nährstoffe entzieht, als reines Wasser; bei den Meeresüberflutungen kommt nun nicht allein die lösende Fähigkeit des Salzwassers in Betracht, sondern gleichzeitig auch die gewaltige Wassermasse, welche den Boden auswäscht und ihm namentlich die assimilierbaren Nährstoffe entzieht. — Ist ein Boden durch derartige Auswaschungen unfruchtbar geworden, dann läßt er sich nur sehr schwer, nur durch starke Düngungen, namentlich durch Stalldüngung, wieder ertragreich machen.

Es sei bei dieser Gelegenheit bemerkt, daß nach Ad. Mayer[nn]) die schädliche Einwirkung des Meerwassers auf Thonböden auch darin begründet ist, daß dieselben in

salzhaltigen Lösungen ihre Teilchen dichter an einander legen, daß sie „dicht geschlämmt“ werden, wodurch der Boden für Luft und Wasser undurchlässiger gemacht wird. —

Außer Kochsalz enthalten manche Böden noch andere lösliche Salze, welche in der Bodenflüssigkeit für die Pflanzenwurzeln zu konzentrierte Lösungen bilden. Hier ist das kohlensaure Natron (Soda) zu erwähnen, welches z. B. in den ungarischen Pußten im Hochsommer, bei geringer Bodenfeuchtigkeit (wo also die Bodenlösungen konzentrierter werden), vorübergehende Unfruchtbarkeit hervorruft. — Ebenso fand Sprengel[88]), in einer Erde aus Portorico 0,66 % kohlensaures Natron. Das Feld war als sehr unfruchtbar bezeichnet worden. — Das kohlensaure Natron wirkt schon durch seine alkalische Reaktion schädlich. (s. Seite 46.)

II. Abteilung.

Die physikalischen Verhältnisse des Bodens in ihren Beziehungen zur Pflanzen-Produktion.

Die gleiche Bedeutung, welche der chemische Nährstoffgehalt des Bodens für die Vegetation der Pflanzen besitzt, beansprucht auch die physikalische Beschaffenheit des Bodens. Unsere Kulturpflanzen stellen in dieser Beziehung ganz bestimmte Ansprüche. Dabei ist jedoch hervorzuheben, daß diese Ansprüche zum Teil mit den Anforderungen, welche die Pflanzen an die Ernährung stellen, zusammenfallen. Wenn die Pflanzen z. B. einen wohl durchlüfteten Boden verlangen, so ist dies nicht blos in Bezug auf die Atmung der Pflanzenwurzeln, sondern auch für die Zersetzung der Bodenmineralien von Bedeutung; denn durch die Verwitterung werden gewisse Bestandteile der Bodenmineralien in den assimilierbaren Zustand übergeführt.

Prüfen wir nun, welche physikalischen Verhältnisse des Bodens für die Pflanzen von Wichtigkeit sind.

Der Wert der Bodenarten für die Pflanzen-Kultur richtet sich in physikalischer Beziehung

1. nach der Fähigkeit, die Pflanzen während der Vegetationszeit mit Wasser zu versorgen und einen Überschuß von Wasser abzuleiten oder in sich aufzunehmen;

2. nach ihrer Durchlüftbarkeit;

3. nach dem Zusammenhang in trocknem und nassem Zustande (in Bezug auf Schwierigkeit der Bearbeitung, Durchdringbarkeit für die Wurzeln);

4. nach der Fähigkeit, sich zu erwärmen (Lage, Neigung, auch Farbe).

Hiervon besitzen die sub 1 und 2 bezeichneten Eigenschaften die hervorragendste Bedeutung, während sich die Eigenschaften sub 3 und 4 teilweise schon aus den sub 1 und 2 beschriebenen folgern lassen.

1. Die Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens.

Es ist eine Thatsache, die sich nicht wegleugnen läßt, daß mit zunehmender Bevölkerung eines Landes der Wasserreichtum sich vermindert. Die Sümpfe vertrocknen, die Flüsse bewegen eine geringere Wassermenge, das Wasser der Seen tritt zurück und bildet größere Ufer. In den gemäßigten Zonen macht sich die Verminderung des Wassers weniger rasch bemerkbar, als in den wärmeren Landstrichen. Hier tritt das Bedürfnis nach Wasser viel dringender auf. Wir finden an der Hand der Geschichte mit dem verminderten Wasserreichtum ganze Landschaften aus der dichtesten wohlhabendsten Bevölkerung herabgehen, sich entvölkern und verarmen. Nicht die Erschöpfung des Bodens an mineralischen Pflanzennährmitteln, sondern der Mangel an Wasser war es, welcher nächst den sozialen Zuständen den Ackerbau beeinträchtigte und große Landstrecken entvölkerte[11]). Es wird weiter unten gezeigt werden, daß eine Verminderung des Wassers die notwendige Folge einer weit ausgedehnten Landwirtschaft ist. Es ist dies nicht allein durch die künstliche Trockenlegung der Sümpfe und durch Entwaldung, sondern durch den ungeheuren Verbrauch von Wasser in der kurzen Vegetationszeit unserer Kulturpflanzen und durch die Zurückhaltung von größeren Wassermengen in der kultivierten Ackerkrume begründet. Ein intensiv betriebener Pflanzenbau bewirkt einen ungleich größeren Verbrauch von Wasser durch die Verdunstung der Pflanzen als ein extensiver Pflanzenbau; während der wenigen Vegetationsmonate werden ungeheure Mengen von Wasser in die Atmosphäre gesendet und dadurch

die ungleichmäßigen, aber desto heftigeren Niederschläge hervorgerufen, die in vielen entwaldeten Ländern gefürchtet sind.

Wohl hat man zur Zeit der höchsten Blüte der Völkerschaften in Italien, in Spanien, in dem alten Ägypten u. s. w. gesucht, die eintretenden Wassermängel zu beseitigen. Großartige Wasserleitungen wurden hergerichtet, um den Feldern das nötige Wasserquantum zuzuführen. Doch erforderten die Wasserleitungen eine unausgesetzte sorgfältige Behandlung und Pflege. Eine schadhafte Stelle vernichtet den Zweck des gesammten Baues. Es konnte deshalb nicht fehlen, daß diese künstliche Hülfe, die man aufbot, nur eine beschränkte Zeit von Wirksamkeit blieb, denn soziale Umwälzungen erschüttern periodisch die Völker; die Überwachung und Pflege wurden dann vernachlässigt und damit waren die künstlichen Wasserleitungen ihrem Untergange geweiht. Wir besitzen genug Beispiele in der Geschichte, wo mit dem Untergange der künstlichen Wasserzuführung für die Landwirtschaft diese letztere verfiel, und Mißwachs, Hungersnot und Entvölkerung damit in Verbindung standen.

Auch Deutschland besitzt große Strecken Landes, bei welchen die Ernteerträge in erster Linie von den atmosphärischen Niederschlägen abhängig sind.

Die atmosphärischen Niederschläge sind nun ungemeinen Schwankungen ausgesetzt. Für andere meteorologische Verhältnisse, z. B. für die Temperatur, lassen sich aus vorhergegangenen Beobachtungen für bestimmte Jahreszeiten Mittelzahlen berechnen und man darf mit einiger Sicherheit annehmen, daß der Temperaturverlauf in der wiederkehrenden Jahreszeit annähernd den berechneten mittleren Temperaturen entspricht. Für den Regenfall dagegen ist eine solche Berechnung nicht statthaft; die zu den verschiedenen Jahreszeiten fallenden Regenmengen sind ganz unregelmäßig. Nicht einmal die jährlichen Regenmengen bleiben konstant. Es zeigen sich hierbei Unterschiede, die für die landwirtschaftliche Pflanzen-Kultur die größten Gefahren in sich bergen.

Am bedeutsamsten aber bleibt immer die Regenverteilung

während der Vegetation der Pflanzen, die ein Mal einen nachteiligen Überfluß, das andere Mal einen Mangel an Bodenfeuchtigkeit hervorruft. Den Landwirt muß in dieser Beziehung die Frage beschäftigen, ob und durch welche Mittel er im Stande ist, diesen Ungleichmäßigkeiten entgegen zu treten.

Um diese Fragen beantworten zu können, müssen wir uns zunächst folgende Vorfragen stellen:

1. welcher Wassermengen bedürfen unsere landwirtschaftlichen Kultur-Pflanzen während ihrer Vegetation überhaupt?

2. welche Wassermengen vermag der Boden aus den Niederschlägen zurückzuhalten und an die Pflanzen abzugeben?

a. Das Wasserbedürfnis unserer Kultur-Pflanzen.

Man hat früher vielfach versucht, experimentell die absolute Menge Wasser festzustellen, welche für die Vegetation unserer Kulturpflanzen nötig ist. Würde man sich aber die Frage von vorneherein klar gestellt haben, würde man näher auf die physiologische Bedeutung der Transpiration eingegangen sein, so würde man sich auch darüber klar geworden sein, daß man feststehende Zahlen für den absoluten Wasserbedarf der Pflanzen, wenigstens für allgemeine Verhältnisse, nicht festzustellen im Stande ist.

Die Seite 11 ff. mitgeteilten Versuche lehren, daß mit dem höheren Wasserverbrauch durch gesteigerte Transpiration auch größere Mengen Nährstoffe in die Pflanzen eingeführt werden. Eine hohe Transpiration derjenigen Pflanzen, welche in einem nährstoffreichen Boden wurzeln, wird deshalb keine Bedeutung für die Produktion von Pflanzensubstanz besitzen, weil mit geringen Wassermengen diesen Pflanzen schon eine genügende Menge der Nährstoffe zugeführt wird; ein Mehr davon bewirkt nur eine höhere Luxuskonsumtion, welche eine Produktion organischer Substanzen nicht im Gefolge hat. Bei den nährstoffarmen Böden dagegen ist die gesteigerte Zufuhr notwendig, und wird daher im Allgemeinen eine energische Verdunstung um so vorteilhafter sein, je nährstoffärmer

die betreffenden Bodenarten sind. Bei den genannten Fällen wird also ein Mal eine geringe, das andere Mal eine hohe Transpiration denselben Effekt haben. Es ist, wie hierbei bemerkt werden mag, interessant, daß die Pflanzen das Verhalten zeigen, welches ihnen am vorteilhaftesten ist: Nach Untersuchungen von Jul. Sachs weiß man, daß die Pflanzen um so weniger Wasser verdunsten, je mehr Salze sie enthalten. Die Salzlösungen wirken retardierend auf die Transpiration.

Eine bestimmte Zahl für die zweckmäßige Verdunstungsgröße giebt es also nicht, und kann es nicht geben, weil die Transpiration nur in Bezug auf Nährstoffzufuhr eine Bedeutung hat, und der Nährstoffvorrath im Boden bald eine hohe, bald eine geringere Transpiration als zweckmäßig erscheinen läßt.

Wichtig für diese Frage ist noch der Umstand, daß sich die Pflanzen bezüglich ihrer Verdunstung gewissermaßen den Verhältnissen anbequemen können; stehen den Pflanzen reichliche Wassermengen zur Verfügung, so treiben sie auch hiermit, wie mit den Nährstoffen, eine Art Luxus; sie verbrauchen größere Mengen davon; ihre ganze Organisation gestaltet sich dementsprechend; die Blätter, — die hauptsächlichsten Organe für Verdunstung —, werden größer und massiger, die Cuticula (die äußerste, die Pflanzen umgebende Haut, welche die Verdunstung hemmt) wird weniger ausgebildet, die Menge der Spaltöffnungen vermehrt sich. Sorauer[uu]) untersuchte diese Verhältnisse an der Gerstenpflanze; er kultivierte die Pflanzen in einem Boden, welcher während der ganzen Vegetationszeit verschieden feucht erhalten wurde; der Boden enthielt 10, 20, 40 und 60 $^0/_0$ von denjenigen Wassermengen, die er zurückzuhalten im Stande war. Das Ergebnis war folgendes:

Versuchsreihe.	Gehalt des Bodens an Wasser in % seiner Kapazität.	Blattlänge mm	Blattbreite. mm	Blattfläche. □mm	Zahl der Spaltöffnungen pro □mm	Spaltöffnungen in Summa.
1.	10 %	93,7	5,6	1950	86,9	169494
2.	20 „	138,7	6,9	2340	76,8	179712
3.	40 „	166,3	9,1	—	—	—
4.	60 „	182,2	9,4	4142	54,66	226402

Derselbe Forscher wies ferner nach, daß die Spaltöffnungen der Pflanzen in feuchter Luft etwas länger sind, und daher größere Poren für die verdunstenden Wassermengen bilden [vv]), als in trockener Luft.

Nächst diesen Verhältnissen ist die Transpiration der Pflanze, also deren Wasserverbrauch, noch von rein äußerlichen Umständen abhängig. Alles, was die Verdunstung einer freien Wasserfläche beeinflußt, beeinflußt auch die Transpiration der Pflanze. Ist die Luft sehr trocken, dabei bewegt, ist die Temperatur sehr hoch, so wird durch die Pflanze mehr verdunstet werden, als in den entgegengesetzten Fällen. Man muß dabei immer die Thatsache festhalten, daß die Verdunstung fast ganz unterdrückt werden kann, ohne daß die Pflanze dadurch geschädigt wird, wenn in diesem Falle nur eine genügende Ernährung (durch höher konzentrierte Bodenlösung) stattfindet, wie dies in den Versuchen Seite 11 ff. der Fall war.

Aus diesen Gründen ist es nun auch erklärlich, warum bei den verschiedenen Versuchen, welche bisher ausgeführt wurden, so wesentlich verschiedene Verdunstungsgrößen für unsere Kulturgewächse gefunden wurden. Die Verdunstungsgrößen waren bedingt einerseits durch die vorhandenen Ernährungsflüssigkeiten, andererseits durch die Luftfeuchtigkeit.

Um nur einige Beispiele für die durch Kulturpflanzen verdunsteten Wassermengen anzuführen, mögen nachstehende Zahlen folgen. Es verdunsteten, in mm Wasserhöhe ausgedrückt [ww]):

nach	Haberland,	Rißler,	Hellriegel
Weizen	83,5 mm	247 mm	—
Roggen	118,0 „	221 „	—
Gerste	123,7 „	— „	138,3
Hafer	227,8 „	418 „	—

Aus der sehr eingehenden und interessanten Bearbeitung dieser Frage durch Wollny[xx]) berechnen sich folgende Verdunstungsgrößen in mm Wasserhöhe:

	1879	1880
Erbse	370,5 mm	467,9 mm
Pferdebohne	394,9 „	355,8 „
Wicke	362,6 „	548,0 „
Weiße Lupine	366,9 „	— „
Gelbe „	299,8 „	— „
Esparsette	352,6 „	— „
Rotklee	541,0 „	— „
Buchweizen	355,8 „	— „
Senf	364,6 „	— „
Kolbenhirse	— „	468,8 „
Mohn	— „	414,1 „
Sommer-Rübsen	— „	546,1 „
Früh-Hafer	382,8 „	— „
Spät- „	424,8 „	562,2 „
Gerste	371,3 „	— „
Sommerroggen	— „	469,3 „
Gras	458,9 „	— „

Wollny vergleicht in seiner oben erwähnten Arbeit die Menge des Transpirations-Wassers mit der Menge der Niederschläge und gelangt hierbei zu dem Schluß, daß das Verdunstungswasser der Pflanzen ungefähr den während der Vegetationszeit gefallenen Niederschlägen entspricht.

Aus den Zusammenstellungen von van Bebber[yy]) geht hervor, daß die durchschnittliche Regenmenge in Deutschland 709 mm beträgt. Davon fallen durchschnittlich:

im Winter	(Dezember—Februar)	20,4 %	= 144,6 mm
„ Frühling	(März—Mai)	22,4 „	= 158,8 „

im Sommer (Juni—August) 32,6 % = 231,1 mm,
„ Herbst (September—November) 24,6 „ = 174,5 „ .

Hiernach betragen die gesamten Niederschläge in den für die Vegetation am meisten interessierenden Jahreszeiten (Frühling und Sommer) im Durchschnitt 390 mm. —

Diese Menge ist also kleiner als Wollny für die Transpiration einzelner Kulturpflanzen fand. Wollny verglich nur die in den Versuchsjahren unter den örtlichen Verhältnissen Münchens gefallenen Regenmengen mit dem Verbrauch der Kulturpflanzen. (Nach van Bebber hat aber Bayern einen größeren Regenfall als dem Durchschnitt in Deutschland entspricht; die Niederschlagsmenge beträgt für das südliche Bayern pro Jahr = 939 mm, für das nördliche = 736 mm.)

Man wird den wirklichen Verhältnissen näher kommen, wenn man den Wasserverbrauch der Kulturpflanzen im Allgemeinen höher veranschlagt als der Regenfall während der Vegetationszeit beträgt [18]), denn im Frühjahr, wenn wir die Felder bestellen, ist der Boden noch gesättigt mit der Winterfeuchtigkeit und die Pflanzen vermögen dieses Bodenwasser und die während der Vegetation fallenden Regenmengen zu verbrauchen. Die Untersuchung des Ackerbodens lehrt dementsprechend, daß im großen Durchschnitt die Bodenfeuchtigkeit vor der Bestellung viel beträchtlicher ist als nach der Ernte.

Die Verdunstung der Kulturpflanzen ist größer als diejenige der Bodenfläche, auf dem die Pflanzen vegetieren. Dies erklärt sich durch die große Verdunstungs-Fläche, welche die Pflanzen der Luft darbieten. Es entsprechen z. B. die (grünen) Blätter vom Pferdezahn-Mais nach den Messungen von Kreußler, Prehn und Becker[22]) einer Fläche bis zu 9200 □cm; berücksichtigt man, daß beide Blattseiten (wenn auch im verschiedenen Maße) verdunsten, so entspricht dies einer verdunstenden Fläche von 18400 □cm. Die Pflanzen, an denen diese Messungen vorgenommen wurden, standen hierbei in einer Reihenentfernung von 30 × 50 cm und benutzten demnach nur eine Bodenfläche von 1500 □cm. Die Pflanzen boten also hier eine Transpirationsfläche, welche mehr

als das zwölffache der Bodenfläche betrug. Hierbei ist noch von der Oberfläche der übrigen Pflanzenorgane (Stengel, Blütenteile u. s. w.) abgesehen, welche doch ebenfalls eine Verdunstung zeigen.

Die Verdunstung des Bodens ist hiergegen nur gering; durch zweckmäßige Bodenbearbeitung, Auflockerung der obersten Krume, kann sie sogar auf ein Minimum herabgedrückt werden.[A]) Die poröse Bodenschicht bildet gleichsam einen Schutz vor dem Austrocknen und wirkt ähnlich wie die Bedeckung des Bodens durch fremde Gegenstände (durch Holz, Stroh, Papier ꝛc.). —

Bisher haben wir nur die Verdunstungsgröße der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen ins Auge gefaßt. Es ist nun von besonderem Interesse, die Transpiration der landwirtschaftlichen mit den forstwirtschaftlichen Kulturgewächsen in Vergleich zu ziehen.

Die Blätter der Waldbäume haben eine lederartigere derbere Beschaffenheit als die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen; die Cuticula der ersteren ist stärker ausgebildet und es ist schon deshalb a priori wahrscheinlich, daß die Blätter der Waldbäume eine geringere Verdunstung zeigen als diejenigen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Direkte Versuche bestätigen dies auch vollkommen. Nach Rißler verdunsten 100 □cm Blattoberfläche pro Stunde im Mittel der Vegetationszeit:

Luzerne	0,46	gr	Wasser
Weizen	0,18	„	„
Hafer	0,14	„	„
Mais	0,16	„	„

dagegen:

Eiche nur	0,06	„	„
Tanne „	0,052	„	„ .

Nach der Berechnung, die Franz von Höhnel[B]) auf Grund von Verdunstungsversuchen mit Waldbäumen anstellte, verdunsten während der Vegetationszeit pro ha

115jähr. Buchenholzwald	ca. 2,40	Mill.	kg	Wasser,
50—60jähr. „	„ 2,30	„	„	„
35jähr. Stangenbuchenholz	„ 0,67	„	„	„ .

Die durchschnittliche Regenmenge beträgt in derselben Zeit pro ha ca. 3 Mill. kg Wasser. (Regenhöhe pro Jahr zu 700 mm angenommen.)

Die Nadelhölzer transpirieren im Durchschnitt 10 Mal weniger als die Laubhölzer.

Nach Th. Hartig[C]) verdunstet in 24 Stunden unter gleichen Bedingungen 1 □m:

einer freien Wasserfläche	2000	gr Wasser,
nasser Boden, nackt	2600	„ „
mit 6 cm hohem Hafer dicht bewachsen	9000	„ „

dagegen verdunstete

1 □m Blattfläche der Buche . . .	210	gr Wasser,
„ Fichte . . .	200	„ „
„ Eiche	280	„ „ .

Derselbe Forscher[D]) berechnet auf Grund eingehender Versuche die Verdunstung pro 1/4 ha 1000 stämmigen Holzbestandes für 180 Vegetationstage:

im Durchschnitt zu	102,8	mm Wasserhöhe,
Laubholz allein „	135,4	„ „
Nadelholz „ „	51,4	„ „

Man ersieht hieraus, daß die Waldpflanzen nicht bloß genügende Mengen Wasser durch die Niederschläge zugeführt erhalten, sondern daß sie davon nur einen Teil bedürfen, der Rest versickert in den Boden und dient zur Speisung der Quellen, Bäche und Flüsse.

Der Einfluß beider Kulturen, der land- und forstwirtschaftlichen, auf die Feuchtigkeitsverhältnisse erstreckt sich aber noch weiter. Indem die Pflanzen, wie oben dargelegt wurde, die verdunstende Oberfläche vergrößern und mehr verdunsten als der Boden, auf dem sie vegetieren, bewirken sie eine raschere Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit. Hiermit steht die Bildung von Niederschlägen im engsten Zusammenhang. Der Winter liefert im Jahre die geringste Menge Niederschläge (144,6 mm), der Sommer die größte Menge (231,1 mm). Gewiß muß den Pflanzen ein wesentlicher Einfluß auf diese Verschiedenheiten eingeräumt werden.

Die forstlichen Baumgewächse verdunsten langsamer, aber stetiger; ihre Blätter entwickeln sich im Mai, zum Teil auch noch früher, und sie entlauben sich erst meistens mit Anfang November. Die Nadelhölzer besitzen ihre Blattorgane das ganze Jahr hindurch.

Die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen entwickeln sich im Durchschnitt erst im Mai und sterben bereits ab im Juli, Anfang August. Die Waldbäume verdunsten mindestens 6 Monate, die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen nur 3 Monate. Die größte Transpiration der letzteren ist aber noch in einen viel engeren Zeitraum zusammengedrängt; erfahrungsgemäß wird die Verdunstung der landwirtschaftlichen Kulturgewächse geringer, sobald sie zu reifen beginnen. Die größte Wassermenge wird also von den Pflanzen in der kurzen Zeit vom beginnenden Schossen bis etwa zur Blüte verdunstet werden. Nun denke man sich diese gewaltigen Wassermassen in so kurzer Zeit hinausgehaucht in die Atmosphäre. Die letztere wird übersättigt; mit der raschen Verdunstung des flüssigen und Verdichtung des gasförmigen Wassers stehen elektrische Erscheinungen im engsten Zusammenhang; heftige Gewitter, wolkenbruchartige Regengüsse müssen da auftreten, wo der landwirtschaftliche Pflanzenbau dem ausgleichenden Walde gegenüber eine zu ausgedehnte Verbreitung findet. Gesteigerte landwirtschaftliche Pflanzenkultur bewirkt eine ungleichmäßig verteilte Regenmenge. Die heftigsten Regengüsse (und die dadurch verursachten Überschwemmungen) wechseln ab mit Dürre und Trockenheit; die forstlichen Kulturen dagegen wirken ausgleichend, der Regen wird durch sie gleichmäßiger verteilt, er verliert die Heftigkeit; Überschwemmungen sind selten, dafür wird der Wasserstand der Bäche, Flüsse und Ströme ein gleichmäßiger und konstanter. Nicht die Entwaldungen an und für sich bewirken die so gefürchteten Überschwemmungen, sondern die damit in Verbindung stehende gesteigerte Kultur energisch transpirierender Pflanzen. — Während die Landwirtschaft der Forstwirtschaft allmählig größere Bodenflächen abnimmt, vergrößert sie die Gefahren,

welche ihr selbst entgegenstehen. Die ungleichmäßig verteilten Regenmengen sind für die landwirtschaftlichen Kulturen von der größten Gefährlichkeit.

Sind die Landstriche mit Wiesen bedeckt, so wirken dieselben ähnlich wie Waldungen; obgleich der Wasserverbrauch der Wiesen ein großer ist, so ist die Wasserverdunstung durch die Wiesengräser doch ein stetigerer als bei den Cerealien; sie dauert so lange als die Wiesen grün sind. Wegen des hohen Wasserverbrauchs der Wiesen können diese nur da existieren, wo die Lage des Bodens eine natürliche Feuchtigkeit bietet: der Regen allein genügt für die Wiesen nicht. Sind die letzten auf das Regenwasser allein angewiesen, so regeln sich ihre Erträge meistens nach den Niederschlägen, die sie empfangen, d. h. das Wasser ist der im Minimum vorhandene Faktor, und unter solchen Umständen liefern die Wiesen Erträge, mit welchen eine intensiv betriebene Wirtschaft nicht zufrieden sein kann.

Die Wiesengräser bedürfen ebenfalls, wie alle anderen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, zu einem befriedigenden Wachstum mehr Feuchtigkeit, als den durchschnittlichen Niederschlägen während der Vegetationszeit entspricht. Während die (kurzlebenden) Kulturpflanzen zur Befriedigung ihres Wasserbedürfnisses auf das im Boden aus der vorhergegangenen Zeit reservierte Wasser mit angewiesen sind, können die (langlebenden) Wiesenpflanzen nur da mit Erfolg gedeihen, wo der Boden eine natürliche feuchte Lage zeigt. Die Wiesenanlagen sind daher nur in Niederungen am Platze. Die naturgemäßesten Weideländereien bildet das Tiefland (Holland, die Westküste von Schleswig-Holstein, die Weichselniederung u. s. w.) oder das Hochland mit seinen so reichlichen Niederschlägen (s. „Regenfall"). Die Waldbäume dagegen bedürfen die während ihrer Vegetation gefallenen Regenmengen nicht vollständig. Es bleibt ein Teil übrig, welcher im Boden versickert und die Speisung der Quellen bewirkt.

b. Die Ackerkrume in ihrer Bedeutung als Wasser-Reservoir für die Pflanzen.

Die großen Wassermengen, welche die Pflanzen während ihrer Vegetation bedürfen, nehmen sie, wie wir früher gesehen haben, fast ausschließlich durch die Wurzel auf. Der Boden ist es also, woraus die Pflanzen ihr Wasserbedürfnis befriedigen müssen.

Nun weiß es jeder praktische Landwirt, daß sich die verschiedenen Böden sehr wesentlich von einander bezüglich ihres Wassergehaltes unterscheiden; der sandige Boden trocknet rasch aus; der thonige dagegen hält das Wasser lange Zeit zurück. Gehen wir bei eintretender Trockenheit über die Felder, so finden wir häufig s. g. Brandstellen, d. h. meist scharf begrenzte Flächen, auf welchen die Pflanzen wegen Wassermangels absterben; gräbt man diese Stellen auf, so findet man in der Regel, daß der Untergrund der nur mäßig tiefen Ackerkrume durch losen Sand oder Kies gebildet wird.

Auch die Bearbeitung der Felder ist von wesentlichem Einfluß darauf, ob die eintretende trockne Witterung den Pflanzenwuchs beeinträchtigt. Ist der Boden nur seicht beackert, werden Egge und Haken mehr benutzt als Pflug und Untergrundspflug, so ist das Reservoir für Bodenwasser nur gering, die Pflanzen haben das geringe Bodenwasser bald erschöpft und leiden sodann Mangel. — Man scheut sich oft den Boden tiefer zu pflügen, weil man dadurch mehr Dünger bedarf. (Siehe Seite 78.) Aber man bedenke, daß die Gefahr, welche durch die ungleichmäßige Regenverteilung dem Pflanzenbau droht, bei flacher Bodenkultur eine sehr hohe ist.

Wie viel beträgt nun die für die Pflanzen nutzbare Wassermenge, welche die verschiedenen Bodenarten zurückzuhalten vermögen?

Man hat zur Lösung dieser Frage zahlreiche Bestimmungen ausgeführt; es ist zu verwundern, daß man nie ernstlich versucht hat, die Ergebnisse dieser Untersuchungen für die praktische Landwirtschaft zu verwerten.

Die Kapazität des Bodens für Wasser oder die Fähigkeit desselben, Wasser zurückzuhalten, wird nach der bisherigen Methode am einfachsten dadurch bestimmt, daß man 100 g Boden mit 1—200 ccm Wasser übergießt und sodann durch ein feuchtes Filter in einen graduierten Cylinder filtriert; wenn die Erde kein Wasser mehr durch das Filter abtropfen läßt, wird die filtrierte Wassermenge abgelesen; die Differenz zwischen der aufgegossenen und abfiltrierten Wassermenge entspricht dem vom Boden zurückgehaltenen Wasser. Da die lufttrockenen Böden immer noch eine wechselnde Menge (hygroskopisches) Wasser enthalten, so wird zweckmäßig die Kapazität der Bodenarten für Wasser auf 100 Teile Trockensubstanz berechnet.

Verfasser fand auf diese Weise die Kapazität für 100 Gewichts-Teile Trockensubstanz:

grobkörniger Sandboden, sehr durchlassend	26,5	Gew.-T.
mäßig fruchtbares Gartenland, sandig .	43,9	„
feinkörniger humoser Sand (unfruchtbar)	41,4	„
sandiger Lehm	43,3	„
fruchtbarer Kalkboden	38,3	„
Torfboden	274,0	„

Will man jedoch die Beziehungen der Bodenfeuchtigkeit zu den Pflanzen ermitteln, so interessiert weniger die von einem Gewichtsteil Boden festgehaltene Wassermenge, als vielmehr diejenige, welche in einem bestimmten Boden-Raume den Pflanzen zur Verfügung steht.

Berechnen wir das von einem Boden-Volum zurückgehaltene Wasser, so kommen wir zu einem höchst überraschenden Resultat. Unter Berücksichtigung der Volumengewichte der obigen Bodenarten beträgt nämlich deren Kapazität für Wasser pro *l* Bodenraum:

grobkörniger Sandboden	390	g
Gartenland, sandig	514	„
feinkörniger humoser Sand	526	„
sandiger Lehmboden	554	„
fruchtbarer Kalkboden	486	„
Torfboden	1260	„

Sieht man von dem Torfboden ab, so sind die Wassermengen, welche von den Bodenarten zurückgehalten wurden, nur sehr wenig von einander unterschieden.

Ganz ähnliche Verhältnisse ergeben sich auch aus den Untersuchungen anderer Forscher. Nach Meister[E]) bindet ein bayer. Kubikfuß Erde:

Thonboden 1.	22,0 ℔ Wasser,
„ 2.	22,6 „ „
Kreideboden	21,7 „ „
Gipsboden	23,0 „ „
Lehmboden	26,4 „ „
Quarzsandboden	20,4 „ „

Nur die humosen Böden machen ebenfalls eine Ausnahme; es bindet nämlich ein bayer. Kubikfuß

Humus	30,9 ℔ Wasser,
Torfboden	28,0 „ „

Diese Zahlen stimmen wenig mit den Erfahrungen überein, welche man in der Praxis macht. Wodurch lassen sich aber diese auffallenden Ergebnisse erklären?

Die Lösung dieser Frage giebt folgendes Experiment: Man nehme zwei Glasröhren, ca. 1 cm im Durchmesser und 1—2 m lang; die eine fülle man mit sandigem Boden, die andere mit Thonboden. Jetzt übergieße man in beiden Röhren die Erdproben mit Wasser, bis sie von oben bis unten vollständig durchfeuchtet sind, und lasse sie so lange stehen, bis sie nicht mehr abtropfen. Die Zeit, welche hierzu nötig ist, ist für den Sand nur kurz; der Thon dagegen nimmt eine sehr lange Zeit in Anspruch. Damit die obersten Schichten der Erdsäulen während des Abtropfens durch Verdunstung nicht weiter austrocknen, sorgt man dafür, daß die Erde nur bis ca. 10 cm unter das obere Ende der Glasröhre reicht; außerdem verstopfe man das Ende der Röhren zur Verhütung des Luftwechsels mit Wolle. Nachdem die Erdsäulen vollständig abgetropft haben, werden die Glasröhren in Stücke zerschnitten und der Feuchtigkeitsgehalt in den verschiedenen Höhen der Erdsäulen bestimmt.

Bei Versuchen, die der Verfasser ausführen ließ, betrug der Wassergehalt, den 100 g Trockensubstanz der Erdarten zurückhielten:

Höhe der Bodenschicht von unten	Sandboden	Thonboden
0—3 cm	20,3 g	50,7 g
15—18 „	17,3 „	52,3 „
30—33 „	15,9 „	46,9 „
45—48 „	13,6 „	45,8 „
60—63 „	11,9 „	44,4 „
75—78 „	11,3 „	43,0 „
90—93 „	8,6 „	39,6 „
Das hygroskopische Wasser betrug	0,27 „	2,6 „

Berechnen wir die Wassermengen auf Bodenraum, so ergiebt sich pro *l* folgender Wassergehalt:

Höhe der Bodenschicht	Sandboden (*l*-Gew. = 2000 g)	Thonboden (*l*-Gew. = 1270 g)
0—3 cm	400,3 g	643,9 g Wasser
90—93 „	172,0 „	502,9 „ „

Das sind also die Gründe, weshalb sich die sandigen Bodenarten so wesentlich von den Thonböden unterscheiden: Der Sandboden, sobald er in einiger Mächtigkeit entwickelt ist, leitet das Wasser leicht und rasch nach den tieferen Schichten, der Thonboden dagegen hält es zäh zurück. Nach diesen Versuchen ist die Kapazität desselben sandigen Bodens unter Umständen eine ganz verschiedene und richtet sich ausschließlich nur nach der Tiefe desselben. Ist die Sandschicht durch eine Thonschicht unterbrochen, so wird die Kapazität für denselben Sandboden eine andere sein, als ohne diese Thonschicht. — Trennt man einen Boden durch Siebe in verschieden feines Korn und füllt damit abwechselnd, schichtenweise, eine Glasröhre nach der vorbeschriebenen Weise, so wird sich selbst hierbei die Wasserkapazität ganz anders stellen, als wenn man die Erde durcheinandermischt und eine Durchschnittsprobe zur Kapazitätsbestimmung verwendet, wie dies in den

Laboratorien geschieht. Aus diesem Grunde erklärt sich mit großer Einfachheit das hohe Gewicht, welches die Praxis auf den Untergrund und die Struktur des Bodens legt. Der Untergrund, selbst wenn er gar nicht mit den Pflanzenwurzeln in Berührung kommt, wird doch auf die Vegetation einwirken, indem er den Feuchtigkeitsgehalt der Ackerkrume bedingt. [19])

Untersucht man die Lagerungsverhältnisse eines Bodens genauer, so wird man ihn (im Schwemmlande) nur in äußerst seltenen Fällen aus einer homogenen Schicht bestehend finden; meistens folgen einander verschiedene Lagen, die sich durch ihre Beschaffenheit scharf von einander abgrenzen. Alle diese Verhältnisse bedingen eine Wasserkapazität der überliegenden Ackerkrume, die im chemischen Laboratorium schon deshalb nicht festgestellt werden kann, weil man nie im Stande sein wird, diese Schichtenverhältnisse der Natur genau nachzubilden.

Es ergiebt sich hieraus, daß die Kapazitätsbestimmungen der Bodenarten für Wasser nur mit dem Boden in seiner natürlichen Lagerung (auf dem Felde) ausgeführt werden dürfen, wenn man Zahlenverhältnisse erlangen will, welche für die Praxis der Pflanzenkultur verwertbar sind. [20])

Nur durch solches Verfahren wird der Landwirt sich ein wenigstens annäherndes Bild von der Wassermenge verschaffen können, welche sein Boden für die Pflanzen zu reservieren vermag. Der Verfasser hat wiederholt vergleichende Prüfungen angestellt über die Wassermengen, welche der Boden nach der bisher üblichen Prüfung im Laboratorium und nach der empfohlenen Feldprobe zurückzuhalten im Stande ist. Die hierbei gewonnenen Zahlen schwanken ganz ungemein. 100 T. Trockensubstanz eines Sandbodens hielten z. B. zurück:

a. nach der Laboratoriumprobe = 28,2 T. Wasser,
b. nach der Feldprobe = 10,1 „ „

Legen wir nun die den wirklichen Verhältnissen entsprechenden Zahlenwerte für die Kapazitäten der Böden für

Wasser zu Grunde, so gehen wir einen wichtigen Schritt zur Erkenntnis des wahren Kulturwertes der Bodenarten weiter.

Nach den früheren Erörterungen müssen wir annehmen, daß die Kulturpflanzen mindestens den durchschnittlichen Regenfall während ihrer Vegetationszeit bedürfen (wahrscheinlich aber mehr). Dies ist für Frühling und Sommer 390 mm. Nun hat der Landwirt nicht dafür besorgt zu sein, daß diese ganze Wassermenge vom Boden auf ein Mal gefaßt werden kann, aber er wird sich doch begreiflicher Weise von den zufälligen Regenverhältnissen um so unabhängiger machen, je mehr der Boden eine Wassermenge zurückzuhalten im Stande ist, welche sich dieser Menge nähert. —

Zur Berechnung der von dem Boden zurückgehaltenen Wassermenge muß die Ackerkrumentiefe bestimmt werden. Durch die Versuche Seite 79 ff. haben wir gesehen, daß sich die Pflanzenwurzeln nur in den Bodenschichten entwickeln, aus welchen sie ihre Nährstoffe zu schöpfen im Stande sind. Dies ist aber, wie wir gesehen haben, die Ackerkrume. Aus diesem Grunde gewinnt auch nur das Wasser für die Pflanzen eine Bedeutung, welches die Ackerkrume zurückhält. Man hat zwar auch dasjenige Wasser, welches kapillar in dem Erdboden aus dem Untergrunde bis in die Ackerkrume gehoben wird, für die Pflanzen in Rechnung gezogen. Von Bedeutung wird dasselbe aber gewiß nur in wenigen Fällen sein, da, wie Seite 27 ff. mitgeteilt wurde, die Hubhöhe durch Kapillarität nur eine verhältnismäßig geringe ist und 1 m in keinem Falle erreicht. Das kapillar gehobene Wasser wird also nur in den Fällen in Betracht kommen, wo das Grundwasser höchstens 0,75 m tief unter der Ackerkrume sich befindet. Solchen Boden wird man aber schon als naß bezeichnen müssen und sein Kulturwert wird aus dem Grunde ein geringer sein.

Alle Verhältnisse dringen darauf hin, nur diejenigen Wassermengen für die Pflanzen-Kultur in Rechnung zu ziehen, welche von der Ackerkrume allein zurückgehalten werden können.

Wollen wir nun von den den Pflanzen nutzbaren Wassermengen im Ackerboden ein anschauliches Bild gewinnen, so ist es am zweckmäßigsten, wenn wir diejenige Wassermenge, welche der Boden zurückzuhalten vermag, in mm Wasserhöhe ausdrücken. Durch eine solche Berechnung kommt die Ackerkrumen-Tiefe und auch die Größe der Kapazität der Böden für Wasser in ihrem Gesamt-Effekt zum Ausdruck und dies ist für den Landwirt von der hervorragendsten Wichtigkeit. Eine größere wasserhaltende Kraft des Bodens kann für den Landwirt event. gleichwertig sein mit einer tieferen Ackerkrume. Je geringer die Wasser-Kapazität des Bodens ist, desto tiefer muß dafür die Ackerkrume sein, um das Wasserbedürfnis der Pflanzen zu befriedigen.

Die im Boden zurückgehaltene Feuchtigkeit läßt sich folgendermaßen berechnen:

Durch direkte Bestimmungen erfahren wir die Wasserkapazität pro 100 g Trockensubstanz des Bodens (= c), sowie das Gewichts des trocknen Bodens pro Liter Bodenraum (= l).[21]) Das pro Liter Bodenraum zurückgehaltene Wasser beträgt demnach $\frac{c\ l}{100}$. Der Kürze halber möge in Nachstehendem die Wassermenge, welche pro Liter Bodenraum zurückgehalten wird, als „Wasserdichte" des Bodens $\left(\frac{c\ l}{100} = d\right)$ bezeichnet werden.

Beträgt nun d beispielsweise = 134 g und denken wir uns diese Wassermenge in 1 Litergefäß befindlich, welches genau einem Kubus von je 10 cm Ausdehnung entspricht, so würde die Wasserhöhe in diesem Litergefäß 13,4 mm betragen. Die Wasserhöhe in mm ist demnach $= \frac{d}{10}$ auf 10 cm, oder $= \frac{d}{10\ .\ 10} = \frac{d}{100}$ auf je 1 cm Bodentiefe.

Hiernach würde sich die reservierte Bodenfeuchtigkeit einfach nach der Formel berechnen

$$f = \frac{d}{100} . k,$$

wobei

f = Bodenfeuchtigkeit, ausgedrückt in mm Wasserhöhe,

d = Wassergehalt pro Liter Bodenraum in g (Wasserdichte),

k = Ackerkrumentiefe in cm

bedeutet.

Wenn wir nun in der vorstehenden Weise bestimmt haben, wie viel Wasser der Boden in Summa zurückzuhalten vermag, so müssen wir dabei in Betracht ziehen, daß nicht das sämtliche Wasser von den Pflanzen benutzt werden kann. Die Nutzbarkeit des im Boden vorhandenen Wassers hat nach zwei Seiten hin seine Grenzen. (S. Seite 28 ff.) Sind die sämtlichen Kapillaren des Bodens mit Wasser erfüllt, so ist der Boden von der Luft nicht durchdringbar und die Pflanzen können unter solchen Verhältnissen wegen des mangelnden Sauerstoffs nicht atmen und deshalb nicht leben. Die Grenze ist hier also von einem gewissen Minimum der Durchlüftbarkeit gesteckt. — Solche Bodenarten sind dem Landwirt als naß, sumpfig, kalt u. s. w. bekannt. Unter normalen, gesunden Bodenverhältnissen sind aber die Bodenarten nicht voll kapillar gesättigt. In Folge der Seite 114 ff. besprochenen Verhältnisse leiten die Böden das Wasser nach den unteren Schichten hin und lassen somit Raum für die eindringende Luft.

Andererseits aber vermögen die Bodenarten nicht alles Wasser an die Pflanzen abzugeben. Nach den Seite 31 mitgeteilten Versuchen beträgt die Grenze, bis zu welcher die Pflanzen den Boden an Wasser erschöpfen, ungefähr $^6/_4$ von derjenigen Feuchtigkeit, welche der Boden in dem günstigsten Falle in Folge seiner Hygroskopizität aufzunehmen vermag.

Bei der Berechnung haben wir also nach dem Obigen nur die unterste Grenze der Wasserabgabe des Bodens an die Pflanze in Betracht zu ziehen, da die oberste Grenze, wenn solche die Bodenfeuchtigkeit erreicht, durch die Schwierigkeit, mit welcher der Boden durchlüftet wird, von nach-

teiligem Einfluß ist, und durch entsprechende Durchlüftungs-Versuche zur Ermittelung gelangt.

Das vom Boden für die Pflanzen reservierte nutzbare Wasser beträgt also

$$w = \frac{d - h \cdot 1{,}5}{100} \cdot k,$$

wobei

w = Nutzungswasser des Bodens für die Pflanzen (in mm Wasserhöhe),
d = Wassergehalt pro *l* Bodenraum in g (Wasserdichte),
h = hygroskopische Feuchtigkeit pro *l* Bodenraum,
k = Ackerkrumentiefe in cm

bedeutet.

Beträgt zum Beispiel

d = 134,
h = 18,9,
k = 25 cm,

so berechnet sich

$$w = \frac{134 - 18{,}9 \cdot 1{,}5}{100} \cdot 25 = \mathbf{25{,}40\ mm}\ \text{Wasserhöhe},$$

(während das gesamte vom Boden zurückgehaltene Wasser 33,50 mm Wasserhöhe beträgt.)

In den überwiegend meisten Fällen wird der absolute Gehalt der nutzbaren Bodenfeuchtigkeit für die Pflanzen von ausschlaggebender Bedeutung sein; es ist gleichgültig, auf welchen Raum (in der Ackerkrume) das Wasser verteilt ist, wenn nur die absoluten Wassermengen, die mit den Pflanzenwurzeln in Verbindung treten, den Pflanzen genügen. Nur eine einzige Kulturpflanze, der Weizen, macht nach meinen bisherigen Erfahrungen den Anspruch, daß ein gewisses Minimum von Wasser in einem bestimmten Raume vorhanden ist. Die Weizenpflanze gedeiht z. B. nur auf solchen Böden, deren Wasserdichte mindestens 270 g beträgt.

Welche Mittel besitzt nun der Landwirt, um seinen Ackerboden für die Kulturpflanzen in ein möglichst ausgiebiges

Reservoir für Wasser umzuwandeln? Dem Landwirt stehen hier zwei Wege offen. Er kann einmal die Wasser-Kapazität der Bodenarten erhöhen, indem er zweckmäßige Mischungen verschiedener Böden vornimmt; sandige Bodenarten müssen mit Lehm oder Thonboden, sowie auch mit verwittertem Torfboden vermengt werden. Solche Meliorationen sind meist leicht zu bewirken; Thon- und Lehmlager finden sich oft in nächster Nähe. Müssen Lehm oder Thon aus tieferen Schichten verwendet werden, so ist es zweckmäßig, das Überfahren dieser Bodenarten im Herbst zu bewirken, damit der Neuboden, oben aufliegend, erst durchfrieren und verwittern kann; im Frühjahr ist dann der Acker zu pflügen. Auch der Torfmoorboden liegt zweckmäßig erst 1/2 Jahr oben auf, ehe er untergebracht wird, doch soll dies nicht bei heißer trockner Jahreszeit geschehen, da der Torf, wenn er einmal ausgetrocknet ist, sehr schwer wieder Feuchtigkeit aufnimmt und dann viele Jahre hindurch unzersetzt im Boden liegen bleibt.

Sodann wird der Boden größere Mengen Wasser für die Pflanzen (aus der Winterfeuchtigkeit) zurückzuhalten im Stande sein, wenn die Ackerkrume zweckmäßig vertieft wird. Jeder cm tiefere Ackerbearbeitung macht die Erträge der Felder sicherer und von der Witterung unabhängiger.

Manche Bodenarten lassen sich ohne Schaden sofort tief pflügen; es sind dies namentlich die sandigen Böden. Andere jedoch, die bindigeren, müssen mit Vorsicht tiefer gepflügt werden, wenn sich nicht nachteilige Folgen in den Erträgen bemerkbar machen sollen. Nachteilig kann hier das Tiefpflügen entweder dadurch werden, daß direkt schädliche Verbindungen (Schwefeleisen) aus dem Untergrunde in die Krume gebracht werden, oder daß zu viel s. g. todter, d. h. unfruchtbarer, nährstoffarmer Boden mit der Ackerkrume vermischt wird; hierdurch werden im Boden die Nährstoffe verdünnt und dadurch die Ernährung der Kulturpflanzen ungünstiger gestellt (s. S. 78). — Der Landwirt besitzt aber

genügende Ackergeräte, wodurch er befähigt ist, die ungünstigen Folgen solcher Tiefbearbeitung zu beseitigen, ohne auf den Vorteil der Tiefkultur verzichten zu müssen. Der Untergrundspflug und der Exstirpator lockern den Untergrund, ohne ihn zu sehr mit der Ackerkrume zu mischen. Hierdurch wird die Einwirkung von Luft und Wasser auf den Untergrund begünstigt, sodaß er allmählich, unter Anwendung verstärkter Düngung, später mit der Ackerkrume ohne Nachteil vermischt werden kann.

Es ist nicht gleichgültig, für welche Kulturpflanzen die Tiefkultur erfolgt. Manche Pflanzen sind sehr empfindlich und leiden Schaden, wenn sie mit dem rohen Boden des Untergrundes in Berührung treten. Besonders empfindlich sind nach meinen Erfahrungen: Weizen und Buchweizen, auch Gerste; dagegen vertragen die Beimischung des rohen Bodens sehr gut: Hafer, Lupinen und Rüben, letztere namentlich dann, wenn gleichzeitig starke Düngung erfolgt.

Die Tiefkultur wird von dem vorsichtigen Landwirt daher nie rücksichtslos auf die nächst zu kultivierende Pflanze ausgeführt werden; er wird der Tiefkultur immer nur solche Pflanzen folgen lassen, welche erfahrungsgemäß von dem Neuboden nicht nachteilig berührt werden.

Der Nutzen, den man dadurch erzielt, daß man den Pflanzen größere Feuchtigkeitsmengen im Boden reserviert, ist sehr groß. Verfasser benutzte zwei neben einander liegende Parzellen, um dies durch das Experiment zu beweisen. Die beiden Parzellen hatten einen weißsandigen Boden (Wellsand), dessen Wasser-Kapazität für 100 g Trockensubstanz = 10,1 g betrug. (Wasserdichte = 163 g.) Die eine Parzelle wurde nun bis zu 1 m Tiefe umgegraben und schichtenweise mit Stroh vermengt; der Gehalt an Stickstoff, Phosphorsäure und Kali im Stroh wurde ermittelt und die entsprechenden Mengen zu je $^1/_3$ der anderen Parzelle in den nächsten 3 Jahren durch mineralische Düngemittel gegeben. Die Erträge stellten sich auf den 2 a großen Flächen folgendermaßen:

	1879 Roggen			1880 Hafer			1881 Kartoffeln
	Korn	Spreu	Stroh	Korn	Spreu	Stroh	Knollen
1 m tiefrajolt	46,2	6,8	80,7	53,0	14,0	84,0	541,5 kg
25 cm tiefgepflügt	36,8	6,8	59,0	45,5	9,0	53,5	383,0 ,,

Besonders auffällig trat der Unterschied im Jahre 1881 hervor, wo die Monate April und Mai sehr regenarm waren.

Der Verfasser ist der Meinung, daß ein guter kultursicherer Boden mindestens soviel für die Pflanzen nutzbares Wasser reservieren muß, daß das Wasser einer Höhe von 100—150 mm entspricht. Kennt man nun (durch den Feldversuch) die Kapazität des Bodens für Wasser, so läßt sich leicht berechnen, welche Tiefe der Ackerkrume gegeben werden muß, um diesen Wassergehalt im Boden zu erreichen.

---

2. Die Durchlüftungsfähigkeit des Bodens.

Diese Eigenschaft, deren hohe Bedeutung man in der landwirtschaftlichen Praxis schon längst erkannt und gewürdigt hat, ist experimentell noch sehr wenig untersucht worden. Veranlassung zu einigen Arbeiten in dieser Richtung gaben bisher nur hygieinische Rücksichten; in landwirtschaftlicher Beziehung liegen so gut wie gar keine Untersuchungen vor.

Die Durchlüftung des Bodens ist durch zwei Umstände erschwert. Meistens ist es eine volle Sättigung (richtiger Übersättigung) des Bodens mit Wasser, wodurch die Luft im Boden verdrängt und ein Abschluß von der Luft herbeigeführt wird. Solche Verhältnisse sind in der Regel nur dort von Nachteil, wo sich gleichzeitig im Boden Stoffe vorfinden, die sehr energisch Sauerstoff absorbieren (faulende organische Stoffe, Eisenoxydul).

Zwar löst das Wasser immer geringe Mengen Sauerstoff auf und ist deshalb durch Wasser ein vollständiger Abschluß

des Bodens von der Luft nicht vorhanden; der im Wasser gelöste Sauerstoff kommt aber in den erwähnten Fällen den Pflanzenwurzeln nicht zu gute, da die genannten Körper den gelösten Sauerstoff mit großer Energie verbrauchen.

Sodann wird die Durchlüftung des Bodens durch eine sehr dichte Aneinanderlagerung der Bodenteile erschwert. Dies geschieht vornehmlich nach vorangegangener Durchfeuchtung des Bodens; bei dem Austrocknen bilden sich dann dichte Krusten, die hart und für die Luft schwer durchdringbar sind; ganz strenge Thonböden zeigen solche schwere Durchlüftung häufig. Werden diese Böden im nassen Zustande besäet, dann umgeben sich die Saatkörner mit einer dichten Kruste und man kann sie dann wochenlang im Boden vorfinden, ohne daß sie gekeimt haben; da sie aber doch dem umgebenden Boden Wasser entziehen, so quellen sie und gehen schließlich, wegen Sauerstoffmangels, in Fäulnis über. --

Der Verfasser hat nun versucht, den Widerstand zu ermitteln, welchen die verschiedenen Böden der Durchlüftung entgegensetzen.

Man kann zu solchen Versuchen zwei Wege einschlagen. Entweder kann man die Zeit bestimmen, innerhalb welcher ein gewisses Quantum Luft bei gleichem Druck durch verschiedene Böden hindurch getrieben wird, oder man kann einfach nur die Höhe des Druckes (z. B. den Wasser- oder Quecksilberdruck) ermitteln, welcher erforderlich ist, um den Widerstand des Bodens gegen die eindringende Luft zu überwinden.

Die Versuche müssen natürlich ebenfalls mit dem Ackerboden in seinem natürlichen Gefüge, also auf dem Felde, ausgeführt werden. Sobald man den Boden ausheben wollte, um die Versuche im Laboratorium auszuführen, würde man zu ganz irrigen Resultaten gelangen.

Verfasser hat sowohl über die Zeit, welche nötig ist, um ein gegebenes Luftvolumen durch verschiedene Böden zu leiten, als auch über den Druck, welcher erforderlich ist, um

den Widerstand des Bodens für Luft zu überwinden, Versuche angestellt.[22])

Ein unten offener Blechkasten mit genau 100 □cm Öffnung wurde 10 cm tief in die verschiedenen Böden eingetreten und dann Luft durch den (von dem Kasten umschlossenen) Boden geleitet. 10 *l* Luft gebrauchten folgende Zeiten, um verschiedene Böden in ihrer natürlichen Lage zu durchdringen.

1. Sandboden, naturtrocken:

bei 20 mm Wasserdruck	a.	12 Min.	52 Sek.,	
	b.	17 „	9 „	
	c.	16 „	9 „	
„ 40 „ „	a.	8 „	34 „	
	b.	8 „	13 „	
„ 2 „ Quecksilberdruck	a.	5 „	— „	
	b.	5 „	13 „	

2. Sandboden, mit Wasser gesättigt:

bei 2 mm Quecksilberdruck	a.	5 Min.	— Sek.,
	b.	5 „	13 „

Der leichte, lockere Sandboden zeigte hiernach keinen Unterschied, ob er mit Feuchtigkeit gesättigt war oder nicht; er war immer sehr leicht durchlüftbar.

3. lehmiger Boden, mit Wasser gesättigt:

bei 40 mm Quecksilberdruck 6 Min. 4 Sek.

Bei 20 mm Quecksilberdruck ließ sich keine Luft durch diesen Boden leiten, nachdem aber der Widerstand durch 40 mm Quecksilberdruck überwunden war, trat auf derselben Bodenfläche die Luft bei viel geringerem Druck hindurch; bei 20 mm Quecksilberdruck bedurften dann 10 *l* Luft zuerst 9 Min. 3 Sek., sodann nur 6 Min. 26 Sek. —

Die Erfahrung, welche in dem letzterwähnten Versuche gemacht wurde, ließ es als unzweckmäßig erscheinen, die Zeit, innerhalb welcher ein gewisses Luftvolumen durch den Boden dringen kann, als Maßstab für die Durchlüftungsfähigkeit der Bodenarten zu verwenden. Die Resultate müssen nämlich hierbei um so verschiedener ausfallen, je verschiedenere

Mengen Luft zur Durchleitung kommen. 10 *l* Luft werden weniger als die zehnfache Zeit des ersten Liters beanspruchen.

Einen zweckmäßigeren Maßstab für die Durchlüftungsfähigkeit des Bodens scheint die Höhe des Druckes, welche nötig ist, um den Widerstand des Bodens zu überwinden, abzugeben.

Mit dem nämlichen Apparate wurden in dieser Beziehung für verschiedene Bodenarten folgende Resultate erhalten:

1. ganz leichter, trockener, sandiger Boden: Es gehörte kein durch den oben benutzten Apparat (durch Wassermanometer) meßbarer Überdruck dazu, um Luft durch solchen Boden zu treiben.

2. schwach lehmiger Sandboden mit lehmiger Unterlage (durchfeuchtet):

a. 20 mm Quecksilber,
b. 30 " "
c. 20 " "

3. Lehmboden, durchfeuchtet:

a. 50 mm Quecksilberdruck*),
b. 65 " "
c. 60 " "
d. 60 " "

*) War der Widerstand im Boden einmal überwunden, dann fiel die Quecksilbersäule rasch bis auf 7,5 und 5,0 mm, wo sie aber stehen blieb. — Würde der (10 cm hohe) Durchlüftungsapparat ganz in Wasser stehen, dann gehörte ein Quecksilberdruck von ungefähr 7,7 mm dazu, um dem Wasserdruck in dem Apparat das Gleichgewicht zu halten.

4. humoser Boden, naturfeucht (der Boden war nur mäßig naß, nicht gesättigt und trug reichlich Gräser, überwiegend Süßgräser):

a. 30 mm Quecksilberdruck.
b. 40 " "

5. Torfboden, sehr naß (natürliche Feuchtigkeit). Der Boden trug überwiegend saure Gräser, Vergißmeinnicht und andere Sumpfpflanzen:

80 mm Quecksilberdruck.

Werden immer die nämlichen Versuchsbedingungen inne gehalten, so lassen sich recht gut Zahlen gewinnen, welche mit einander vergleichbar sind und aus welchen man folgern kann, ob seitens des Landwirts für eine bessere Durchlüftung eines Bodens gesorgt werden muß. Aus dem Vorstehenden wird ungefähr 70 mm Quecksilberdruck als die erlaubte Grenze des Widerstandes des Bodens gegen die eindringende Luft angesehen werden können.

Doch müssen bei der Beurteilung der Durchlüftungsfähigkeit der Bodenarten auch noch andere Verhältnisse Berücksichtigung finden. Ist ein Boden arm an organischen Stoffen, enthält er ferner keine mineralischen Substanzen, welche Sauerstoff begierig absorbieren, so wird die schwerere Durchlüftbarkeit weniger bedeutungsvoll sein, als in einem Boden, der an diesen Bestandteilen reich ist. Es ist in dieser Hinsicht die größere oder geringere Energie, mit welcher die Bodenarten Sauerstoff aufnehmen und verbrauchen, von ausschlaggebender Bedeutung. [23])

Welche Mittel besitzt nun der Landwirt, um den Boden durchlüftbarer zu machen? Zunächst müssen alle diejenigen Bodenarten, bei welchen die stauende Nässe Ursache der ungünstigen Durchlüftbarkeit ist, entwässert werden. (Drainage oder offene Abzugsgräben.) [24]) Bei den meisten Böden wird schon diese Melioration genügen, um den Boden in einen gesunden Zustand überzuführen. Sobald das Wasser abfließt, dringt ihm unmittelbar Luft nach, die dann ihren wohlthätigen Einfluß auf Boden und Pflanzenwurzeln ausüben kann. Der Sauerstoff der Luft wird hier zwar rasch verbraucht, es treten aber nach den Gesetzen der Diffusion fortwährend neue Mengen davon in den Boden ein.

Eine größere Zufuhr von Luft wird bei jedem stärkeren Regen in den Boden gelangen, weil durch das Regenwasser die (kohlensäurereiche und sauerstoffarme) Bodenluft verdrängt wird und bei dem Versinken des Wassers neue Luftmengen in den Boden nachgezogen werden.

Sodann kann eine sorgfältige Ackerbearbeitung (bei Thon-

boden), wobei eine möglichst starke Krümelung erzielt wird, eine bessere Porosität des Bodens bewirken.

Eine mechanische Bearbeitung allein wird aber nur zeitweilig eine bessere Durchlüftung des Bodens herbeiführen; der Boden schwemmt sich bei nasser Witterung bald wieder zusammen; deswegen sind zweckmäßig noch andere Mittel zu gebrauchen, und diese besitzt der Landwirt in der Unterbringung von verwesenden organischen porösen Substanzen. Die Unterackerung von Stroh, Schilf, Sägespänen u. s. w. wirkt in doppelter Hinsicht günstig; einige dieser Körper (Stroh, Schilf) sind mit Hohlräumen versehen und vermitteln dadurch direkt die Porosität; dann wirken sie auch, indem sie sich zersetzen; sie bilden Gase, welche mit Gewalt den Boden auflockern, gleichwie die Hefe den Mehlteig auflockert.

Die Durchlüftung des Bodens hat nicht allein eine Bedeutung bezüglich der Atmung der Pflanzenwurzeln, sondern direkt auch für die Ernährung. Je mehr die atmosphärische Luft mit den bodenbildenden Gesteinen in Berührung tritt, desto mehr vermag dieselbe zersetzend zu wirken. Hierdurch werden die Pflanzennährstoffe, die sich in den Gesteinen vorfinden, in einen für die Pflanzen nutzbaren Zustand übergeführt. In sehr anschaulicher Weise wird dies durch Versuche illustriert, welche Ad. Stöckhardt ausführte.[F]) Derselbe erzog Pflanzen in $2^1/_2$ Fuß hohen und $5^1/_2$ Zoll weiten Glascylindern. Der eine Cylinder war in der Mitte des Bodens durchbohrt und wurde durch diese Öffnung eine Röhre befestigt, die sich innerhalb des Cylinders zu einer Brause erweiterte, außerhalb mit dem Gasometer durch ein Zuleitungsrohr verbunden war. Bei dem einen Gefäße wurden täglich 1600 ccm Luft durch den Boden geleitet. Bepflanzt waren die Cylinder mit 5 Haferpflanzen und 3 Erbsenpflanzen (durch ein Hagelwetter wurden jedoch in dem Gefäß, durch welches Luft eingeleitet wurde, 2 Haferpflanzen vernichtet). — Die Versuche lieferten folgendes Ergebnis:

	Ertrag des Bodens	
	nicht durchlüftet	durchlüftet
Hafer	(5) 3,90 g	(3) 7,65 g
Erbsen	(3) 1,72 „	(3) 2,46 „
Wurzeln von beiden . .	0,27 „	0,38 „
in Summa	(8) 5,89 g	(6) 10,49 g
Asche in den Pflanzen (inkl. Wurzeln)	0,52 g	0,95 g
In Wasser lösliche Mineralstoffe des Bodens (nach dem Versuche) .	1,52 „	2,76 „
in Summa	2,04 g	3,71 g

In ganz ähnlicher Weise wird die Drainage in dem Boden wirken. Hier kann die Luft in den offenen Röhren leicht zirkulieren und in den Boden eindringen, es wird eine raschere Verwitterung der Gesteine und in Folge dessen eine bessere Ernährung der Pflanzen eintreten.

---

3. Der Zusammenhang des Bodens im trocknen und nassen Zustande.

Die Untauglichkeit eines zu leichten (zu lose an einander hängenden) oder eines zu bindigen Bodens für die Pflanzenkultur findet durch die damit in Zusammenhang stehenden ungünstigen Bedingungen für Ernährung, Wasseraufnahme oder Durchlüftung ihre richtige Erklärung. Die in der Überschrift genannte Eigenschaft muß hier jedoch für Beurteilung des Bodens in Betracht kommen, weil die größere oder geringere Schwierigkeit der Bearbeitung für den Landwirt in die Wagschale fällt. In den allerfrühesten Zeiten des Landbaues fand eine Niederlassung zum Zweck des Ackerbaues immer nur da statt, wo leichter Boden die Kultur erleichterte. Die damals so unvollkommenen Ackergeräte machten die Bearbeitung des schweren Bodens unmöglich. Jetzt ist dies nicht mehr der Fall; bessere Gerätschaften stehen gegenwärtig dem Landwirt

zur Ackerbearbeitung zur Verfügung. Doch ganz abgesehen davon, daß hierdurch ein größeres Anlagekapital für die betreffenden Geräte notwendig wird, so erfordert die größere oder geringere Schwierigkeit der Bodenarbeit auch entsprechende Kräfte und hierdurch werden die Betriebskosten für einen bindigen schweren Boden größer als für einen leichteren.

Leider besitzen wir zur Zeit nach Kenntnis des Verfassers so gut wie keine vergleichenden Versuche, welche zur Berechnung der für die verschiedenen Bodenarten erforderlichen Arbeitskräfte einen Anhalt bieten könnten. Es müßte in dieser Beziehung festgestellt werden, welche Zugkräfte erforderlich sind, um die verschiedenen Ackerwerkzeuge (Pflüge, Haken, Eggen, Krümmer, Exstirpatoren u. s. w. je von bestimmter Konstruktion) in genau beschriebenen Bodenarten unter sonst gleichen Verhältnissen mit einer bestimmten Geschwindigkeit in Bewegung zu setzen. Allerdings sind solche Untersuchungen deshalb mit besonderer Schwierigkeit verknüpft, weil die betreffenden Versuche streng korrespondierend ausgeführt werden müssen, wenn sie Wert haben sollen.

Um sich ein Urteil über die Schwierigkeit der Bearbeitung zu verschaffen, unterscheidet der Landwirt: strengen Thon, schweren, strengen, sandigen Lehmboden, lehmigen, leichten Sandboden; außerdem werden noch die Bezeichnungen: locker, mürbe, bindig, fest, geschlossen, zähe u. s. w. gebraucht, und genügen diese Bezeichnungen wohl auch, um sich ein allgemeines Urteil über die Schwierigkeit der Bodenbearbeitung zu verschaffen, wenn man die obwaltenden Verhältnisse nicht ziffermäßig zum Ausdruck bringen will.

Eine genauere Vergleichung der Widerstände, welche die Bodenarten der Bearbeitung entgegensetzen, wird dadurch erzielt, daß man durch Versuche, bei welchen man streng das gleiche Verfahren befolgt, 1. den Zusammenhang (die Kohäreszenz) des Bodens, 2. die Adhäsion des Bodens an Holz und Eisen (sowohl im nassen als trocknen Zustande) bestimmt.[25])

In Bezug hierauf mögen die Untersuchungen von Schübler[G]) erwähnt werden, welche derselbe über den Zu-

sammenhang (Kohäreszenz) und Adhäsion mit verschiedenen Böden ausführte.

	Zusammenhang (Kohäreszenz) der trocknen Erde. (Thon = 100)	Adhäsion des feuchten Bodens für 1 □dcm an Eisen		an Holz	
		kg	Thon = 100	kg	Thon = 100
Quarzsand	0	0,17	14,7	0,19	14,4
Kalksand	0	0,19	15,7	0,20	15,1
Kalkerde, fein verteilt	5,0	0,65	53,3	0,71	53,8
Gips, ungebrannt, pulverförmig . .	7,3	0,49	40,1	0,53	40,1
Humus	8,7	0,40	32,8	0,42	31,8
lehmart. (mag.) Thon (24 % Sand, 76 % Thon)	57,3	0,35	28,7	0,40	30,3
fetter (lettenart.) Thon (40 % Sand, 60 % Thon)	68,8	0,48	39,5	0,52	39,2
Thonboden (klayartig. Thon)	83,3	0,78	64,0	0,86	65,1
reiner Thon . . .	100,0	1,22	100	1,32	100,0
Gartenerde (52 % Thon, 37 % Sand, 7 % Humus) . .	7,6	0,29	23,8	0,34	25,8
Ackererde vom Hoffwyll (51 % Thon, 43 % Sand, 3 % Humus)	33,0	0,26	21,3	0,28	21,2
Ackererde vom Jura (33 % Thon, 63 % Sand)	22,0	0,24	19,7	0,27	20,5

Hervorzuheben ist bei diesen Zahlen, daß die Bodenarten an Eisen stets geringer adhärieren als an Holz; die Bearbeitung des Bodens durch eiserne Ackerkulturgeräte erfordert deshalb geringere Zugkräfte als die Bearbeitung durch hölzerne Geräte. —

Der Zusammenhang des Bodens ist schließlich noch in Rücksicht auf den Widerstand zu betrachten, den er dem Eindringen der Pflanzenwurzeln entgegensetzt. Es kommt in dieser Beziehung zunächst in Frage, welchen mechanischen Widerstand

die Pflanzenwurzeln zu überwinden im Stande sind. Unsere Kenntnis hierüber ist noch sehr mangelhaft. Aus allgemeinen Verhältnissen möchte man schließen, daß die Bindigkeit selbst unserer schwersten Bodenarten für die Pflanzenwurzeln kein Hindernis bildet, um in den Boden einzudringen. Wir sehen die zarten Wurzelfasern in die feinsten Risse und Spalten der Felsen eindringen und sich schließlich in Folge ihres Dickenwachstums auf rein mechanische Weise Raum für das weitere Wachstum verschaffen. Aus Versuchen von Jul. Sachs u. A. (mit Vicia Faba) wissen wir, daß die Keimwurzel mit ihrer Spitze selbst in das Quecksilber eindringen kann, dessen spezifisches Gewicht das Vielfache von dem der Pflanzenwurzel beträgt. Kein Boden ist zu hart, kein Weg zu festgetreten, es finden sich doch bald junge Pflanzen daselbst ein. Wenn uns auf den hartgetretenen Fußwegen meist nur bestimmte Pflanzenwurzeln (z. B. Plantago major) entgegentreten, so könnte die Frage entstehen, ob manche Pflanzenarten dies Vermögen, ihre Wurzeln in den harten Boden hineinzudrängen, in höherem Maße besitzen als andere; hierüber müssen noch direkte Versuche Aufschluß geben; immerhin ist die Annahme berechtigt, daß die Wurzeln der Pflanzen leicht in den harten Boden einzudringen vermögen.

Der unzweifelhaft wohlthätige Einfluß, den das Auflockern des Bodens auf den Pflanzenwuchs übt, läßt sich einfach darauf zurückführen, daß in dem lockeren Boden die Durchlüftung (Atmung) und die Ernährung der Pflanzen günstiger stattfindet, als in dem festen, harten Boden und daß der lockere Boden größere Wassermengen als der feste an die Pflanzen abzugeben im Stande ist. — Dies alles sind Umstände, welche die Lockerung des Bodens für den Pflanzenbau als ein zu erstrebendes Ziel erscheinen lassen, wenn sie auch für das Eindringen der Pflanzenwurzeln keine Bedeutung besitzen.

4. Die Wärme und Erwärmungsfähigkeit des Bodens.

Die Wärme eines Bodens hat für das Wurzelleben der Kulturpflanzen eine hohe Bedeutung. Bei höheren Temperaturen erfolgen die Verwitterungsvorgänge der Mineralien leichter, als bei niederen; die Ernährung der Pflanzen wird deshalb auch von der Erwärmungsfähigkeit des Bodens mit beeinflußt sein. Die Temperaturen üben namentlich auf den Verlauf der physiologischen Vorgänge in der Wurzel einen hervorragenden Einfluß aus. So regeln z. B. die obwaltenden Temperaturen den Eintritt des Wassers und der Nährstoffe in die Wurzeln.

Nach Versuchen von Wilh. Schumacher[H]) verhält sich das osmotische Äquivalent bei verschiedenen Temperaturen:

a. Versuche mit Oxalsäure:
bei 13 20 32,5 °C.
= 4,26 : 4,54 : 5,38

b. Versuche mit (Hühner-) Eiweiß:
bei 19—21 ° 0 °C.
1. = 5,1 : 2,8
2. = 4,2 : 2,4

Was Schumacher hier außerhalb der Pflanze in künstlich hergestellten Apparaten beobachtete, findet auch unzweifelhaft in der lebenden Pflanze statt; bei Erniedrigung der Temperatur werden auch die Diffusionsvorgänge zwischen Bodenlösung und den Zellen der Pflanzenwurzel verlangsamt. Nach Beobachtungen von Jul. Sachs[J]) vermochten Tabak und Kürbis bei einer Bodentemperatur von 3—5 ° C. ihr Wasserbedürfnis aus einem feuchten Boden nicht mehr zu decken, sie welkten; durch Erwärmung des Bodens auf 15—18 ° C. wurde die Thätigkeit der Wurzeln für Wasseraufnahme in genügender Weise wieder angeregt, so daß die Blätter wieder straff wurden. —

Die Bodenwärme wird nun erzeugt, entweder durch die Einwirkung der Wärme- und Lichtstrahlen der Sonne oder durch Verwesung von organischen Substanzen im Boden.

Bei jeder Oxydation (Verwesung) entwickelt sich Wärme. Die bei der Zersetzung des Stallmistes im Boden entwickelte Wärme macht sich nur deshalb unserm Gefühl nicht bemerkbar, weil die Zersetzung eine sehr langsame ist. Es entwickelt sich jedoch bei der Zersetzung derselben Substanz immer die nämliche Wärmemenge, gleichgültig ob diese Substanz langsam im Boden verwest, oder rasch mit Flamme an der Luft verbrennt.

Im vorliegenden Falle haben wir nur die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenstrahlen in Betracht zu ziehen.

Die Erwärmung eines Bodens durch die Sonne ist in erster Linie abhängig von seinem Wassergehalt, außerdem noch von seiner Farbe und von der Neigung gegen den Horizont.

Es sind dies Abhängigkeiten, die sich leicht konstatieren lassen.

Ein hoher Wassergehalt macht den Boden kalt. Mit dem Boden gleichzeitig muß auch das Wasser erwärmt werden; Wasser und Boden, je für sich betrachtet, bedürfen aber sehr ungleichmäßige Temperaturen, um sich um 1 ° zu erwärmen. Setzen wir die Anzahl Wärme-Einheiten, welche nötig sind, damit 1 kg Wasser um 1 ° C. erwärmt wird = 100, so bedürfen, um dieselbe Temperaturerhöhung zu erfahren, beispielsweise

Thon nur 17,8 Wärme-Einheiten,
Sand nur 12,8 „ „

Je mehr Wasser der Sand oder Thon enthält, desto mehr Wärme muß hiernach demselben zugeführt werden, damit eine Temperaturerhöhung um 1 ° stattfinden kann. Man nennt dieses verschiedenartige Bedürfnis der Körper, Wärme-Einheiten in sich anzuhäufen, damit eine Erwärmung um 1 ° stattfinden kann, ihre spezifische Wärme, oder Wärme-Kapazität. —

Ein nasser Boden ist aber noch aus dem Grunde „kalt", weil aus ihm fortdauernd Wasser verdunstet. Bei der Verdunstung wird Wärme verbraucht. Ein Gramm Wasser von 100 ° bedarf, um sich in Dampf von 100 °

umzuwandeln, soviel Wärme, daß dadurch 536 g Wasser um 1 ° C. in ihrer Temperatur erhöht werden können. Die zur Verdunstung nötige Wärmemenge entzieht das Wasser seiner Umgebung und diese erleidet dadurch eine Abkühlung.

Je rascher die Verdunstung erfolgt, desto größer ist die Temperaturerniedrigung der Umgebung; trockene Winde, welche über nassen Boden hinwegstreichen, vermögen die Temperatur des Bodens durch die veranlaßte Verdunstung weit unter ihre eigene Temperatur zu erniedrigen.

Es erklärt sich hieraus, warum auf nassen Böden die Kulturpflanzen so leicht erfrieren, und zwar häufig bei Lufttemperaturen, die weit über dem Null-Punkte des Thermometers liegen.

In Bezug auf die Farbe ist es bekannt, daß sich dunkle Böden rascher erwärmen, als hellere. Bezüglich der Neigung des Bodens gegen die Himmelsrichtung muß die Erwärmung, unter sonst gleichen Verhältnissen, um so beträchtlicher sein, je mehr die Bodenfläche und die auffallenden Sonnenstrahlen einen rechten Winkel bilden. Sehr günstig für die Erwärmung gelegene Bergabhänge haben aber auch wieder ihre Nachteile. Die Vegetation eilt hier der Jahreszeit voraus und schaden dann die Kälterückfälle, die in jedem Jahre zu erwarten sind, der Vegetation nur um so mehr.

Der Feuchtigkeitszustand des Bodens ist indessen von weit überwiegendem Einfluß auf die Erwärmungsfähigkeit des Bodens; die Farbe, sowie auch die Neigung gegen die Himmelsrichtung treten hiergegen in ihrer Bedeutung zurück.

Unter Umständen kann sich der Boden beträchtlich höher erwärmen, als die Luft [26]), die Temperaturdifferenzen zwischen beiden können bis 24, ja bis 30 ° C. steigen. Doch ist hierbei zu beachten, daß nach den Beobachtungen von Bialoblocki [K]) die oberste Grenze der Bodenwärme, bei welcher noch das Leben der Wurzel möglich ist, unterhalb aber sehr nahe 40 ° C. liegt. Die Pflanzen können allerdings ohne sichtliche Beschädigung viel höhere Temperaturen ertragen, aber diese dürfen nur kurze Zeit andauern. Bialoblocki

beabachtete z. B., daß 55 ° C., 4—5 Stunden anhaltend, ohne Schaden von den Pflanzenwurzeln ertragen wurden; dagegen tötete schon eine konstante Temperatur von 50 ° regelmäßig die Pflanzen.

Weiteres hierüber s. Seite 139 ff.

III. Abteilung.

Die klimatischen Verhältnisse in ihren Beziehungen zur Pflanzenproduktion.

Die klimatischen Verhältnisse, welchen ein Boden ausgesetzt ist, müssen bei Beurteilung des Bodens in Beziehung auf Pflanzenbau ebenso sorgfältig in Erwägung gezogen werden, als die Eigenschaften des Bodens selbst; denn die in dem Boden wurzelnden Pflanzen sind in größter Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen, welche durch die Lage des Bodens, durch das Klima desselben, bedingt werden. Das Klima sollte einer noch viel sorgfältigeren Beurteilung unterliegen, als der Boden, denn das Klima ist etwas Feststehendes, Gegebenes, das nicht künstlich gebessert werden kann, während die Eigenschaften des Bodens in den meisten Fällen einer künstlichen Verbesserung fähig sind.

In allen Ländern Europas sind zahlreiche meteorologische Beobachtungs-Stationen angelegt, aus deren Beobachtungen über das Klima fast aller Gegenden Europas Aufschluß gewonnen werden kann. Leider sind die Beobachtungen — mit wenigen Ausnahmen — zur Zeit nur in dickleibigen Bänden tabellarisch niedergelegt und für landwirtschaftliche Zwecke so gut wie noch gar nicht verwertet worden. Die Zusammenstellungen, soweit sie vorliegen, nehmen auch zu wenig Rücksicht auf diejenigen Momente, welche für die Landwirtschaft von höchster Bedeutung sind. So wurde z. B. erst seit dem Jahre 1880 in den Zusammenstellungen des königlich preuß. meteorologischen Instituts zu Berlin der Eintritt des *ersten* und *letzten Frostes* im Jahre berücksichtigt, dieses für die

Landwirtschaft so wichtigen Momentes, welches die Vegetationsdauer der Kulturpflanzen bedingt und woran sich die bedeutungsvollsten Folgerungen knüpfen. Auch heute noch fehlen in jenen Zusammenstellungen Aufzeichnungen über Dauer und Intensität der Besonnung u. s. w. Es ist im Interesse der Landwirtschaft dringend zu wünschen, daß die ausführende Meteorologie mehr, als dies bisher geschehen, die Bedürfnisse der Landwirtschaft berücksichtigt.

Aber auch der praktische Landwirt sollte sich mehr den Beobachtungen und der genauen, sorgfältigen Aufzeichnung der Witterungsverhältnisse widmen; auf keinem größeren Gute sollte ein richtig aufgestelltes Thermometer fehlen, und sicher werden sich immer geeignete Persönlichkeiten finden, welche die Angaben desselben, sowie die sonstigen Witterungsverhältnisse aufzuzeichnen fähig sind. Die Beobachtungen geben, längere Zeit mit richtig justierten und richtig aufgestellten Instrumenten fortgesetzt, die wichtigsten Anhaltspunkte für die Bewirtschaftung der Güter. —

Am auffallendsten wird der hohe Einfluß des Klimas auf die Pflanzenproduktion, wenn man aufsteigt in die höher gelegenen Gebirgsstriche. Man braucht nicht bis zu den schneebedeckten Alpen emporzusteigen, um diese Unterschiede zu bemerken. Wandert man z. B. aus dem gesegneten Neckarthale hinauf nach der rauhen Alb, so zeigen sich auffallende Kontraste in der Vegetation: dort zum Brechen belastete Obstbäume, üppig belaubte Kräuter und Sträucher, dicht bewachsene Kornfelder; hier oben das Getreide in kurzen Halmen spärlich das Feld bedeckend, die Obstbäume dürftig mit Früchten behangen, überhaupt ein Bild kümmerlicher Vegetation. Diese Unterschiede sind nicht allein in der Verschiedenheit des Bodens, der sich in der Niederung in größerer Mächtigkeit als in der Höhe abgelagert hat, zu suchen, sie sind wesentlich bedingt durch die verschiedenen klimatischen Verhältnisse. Kalte Luftschichten streichen über die Hochflächen der rauhen Alb herüber von den Eisbergen der Alpen und bringen Kälte

und Frost, vor welchen die tiefer gelegenen Landstriche geschützt sind.

Was wir in rascher Aufeinanderfolge beobachten, wenn wir im Gebirge emporsteigen, dasselbe findet sich (nur durch weite Flächen gedehnt) wieder, wenn wir nach dem Norden reisen. Hier kommen nur Verschiebungen der Klimate vor, welche durch mannigfaltige Verhältnisse bedingt werden. (Klima der Küstengebiete und der Binnenländer, Meeresströmungen, schützende Gebirgszüge u. s. w.) Solche Verhältnisse sind Ursache, daß Landstriche, die geographisch gleich oder ähnlich gelegen, doch ganz verschiedenen Wert für die Pflanzenproduktion besitzen.

In Rücksicht auf die letztere interessieren uns nun namentlich die Temperatur, ihre Intensität und Intensitätsverteilung, ferner die Niederschläge während der Vegetation, also die Regenverhältnisse, sowie endlich die Belichtung oder Besonnung.

Es wird unsere Aufgabe sein, in den folgenden Kapiteln diese Verhältnisse einer kurzen Erörterung zu unterziehen.

1. Die Temperaturverhältnisse.

Die Assimilation, die Zellenvermehrung, das Wachstum, — überhaupt alle physiologischen Prozesse in den Pflanzen — sind abhängig von einem gewissen Wärmegrade. Verfolgt man die genannten Erscheinungen unter verschiedenen Temperaturen, so findet man, daß sie erst bei einem gewissen Temperatur-Minimum beginnen, mit zunehmender Temperatur energischer werden, bis sie einen Kulminationspunkt erreicht haben; steigt jetzt die Temperatur noch weiter, so vermindert sich aber die Energie der betreffenden Prozesse, bis sie bei einem Temperatur-Maximum ganz aufhören. Man unterscheidet also bezüglich der Temperatur für die einzelnen Vegetationsprozesse ein Temperatur-Minimum, ein -Optimum (die dem betreffenden Prozesse günstigste Temperatur) und ein Temperatur-Maximum.

Für das Wachstum der Teile keimender Pflanzen wurde z. B. gefunden[1])

	die untere Grenze	das Optimum	die obere Grenze	Beobachter
Brassica Napus . .	—	31,5 ° C.	unter 42,5	H. de Vries,
Cannabis sativa . .	—	31,5 „	über 42,5	„
Cucurbita Pepo . .	13,7 ° C.	33,7 „	46,4	Jul. Sachs,
Hordeum vulgare .	5,0 „	28,7 „	37,7	„
Linum usitatissimum	—	27,4 „	über 37,2	H. de Vries,
„ „	1,8 „	—	—	de Candolle,
Phaseolus multiflorus	9,3 „	33,7 „	46,2	Jul. Sachs,
„ vulgaris .	—	31,5 „	über 42,5	H. de Vries,
Pisum sativum . .	6,7 „	26,6 „	—	Köppen,
Sinapis alba . . .	0,0 „	21,0 „	28,0	de Candolle,
Trifolium repens . .	5,7 „	21—25 „	—	„
Triticum vulgare . .	5,0 „	28,7 „	42,5	Jul. Sachs,
„ „ . .	7,5 „	29,7 „	—	Köppen,
Zea Mais	9,5 „	33,7 „	46,2	Jul. Sachs,
„ „	9,6 „	32,4 „	—	Köppen,
„ „	9,0 „	21—28 „	—	de Candolle.

Für den Assimilationsprozeß wurde von mir das Minimum, Optimum und Maximum der Temperatur bei einer Wasserpflanze (Hottonia palustris) festgestellt. Es lag

das Minimum zwischen 3,1 und 5,6 ° C.,
das Optimum gegen 31 ° C.,
das Maximum zwischen 50 und 56,2 ° C.

Das Ergrünen der meisten Kulturpflanzen erfolgt nach Hensolt[M]) bei einer Minimal-Temperatur von 7—9 ° C. Unter diesen Temperaturen können die Keimpflanzen zwar wachsen und größer werden, sie bleiben aber gelb (chlorotisch).

Für viele physiologische Prozesse der Pflanzen (namentlich für gewisse Stoffmetamorphosen) wird das Temperatur-Minimum wahrscheinlich ziemlich hoch liegen. Einige Stoffe, welche gewissen Pflanzen eigentümlich sind, lassen sich in den kälteren Gegenden der Erde nicht zur Entwickelung bringen. Der Stoff im Kaffee und Thee, der auf das Nervensystem der Menschen die bekannte belebende Wirkung äußert (das Kaffeïn), entwickelt sich nicht in dem gemäßigten Klima. Ebenso vermag sich das Vanillin, der gewürzhafte Bestandteil in der Vanillen-Schote, nur in den tropischen Gegenden zu bilden,

obgleich es in bestimmten Geweben unsrer nordischen Nadelhölzer gleichsam in seinem Molekül fertig konstruiert vorliegt, — denn aus gewissen Bestandteilen in den Nadelhölzern kann das Vanillin künstlich hergestellt werden. Ebenso beansprucht die Bildung der meisten wirksamen Stoffe vieler anderer Gewürzpflanzen eine hohe Temperatur. In dem Weine der kälteren Jahrgänge ist die Säure vorherrschend; eine reichliche Zuckerbildung findet nur in den warmen Jahren statt, namentlich wenn der Sommer und Herbst warm sind.

Auf der andern Seite aber bilden sich viele aromatische Stoffe nur bei niederen Temperaturen. Der gewürzhafte Geruch des Heues der Alpen ist bekannt. Nach Schübeler wird in Norwegen die Sellerie-Wurzel so aromatisch, daß sie deshalb nicht genossen werden kann. Der Tabak wird in Christiania noch (Mitte und Ende September) reif und trägt Samen; es werden von ihm daselbst auch große Blätter gewonnen, dieselben sind jedoch zum Rauchen nicht zu verwenden. Schübeler bemerkt darüber: „Ich ließ hier gewachsene Blätter von einem des Faches kundigen Tabaksfabrikanten präparieren und zu Rauchtabak und Cigarren verarbeiten, fand jedoch die Aufgabe, das Produkt zu rauchen, für meine Person unausführbar, indem ich schon nach einigen Zügen zu der „„subjektiven Überzeugung““ von der Untauglichkeit des norwegischen Tabaks gelangte“.[N]) Ferner giebt der Kümmel aus Norwegen 5,8 % ätherisches Öl, während der Kümmel aus Holland, Sachsen u. s. w. nur 4—4,5 % liefert.

Vielleicht ist in den letzteren Fällen auch dem Lichte ein bildender Einfluß zuzuschreiben, denn je höher wir uns auf den Bergen erheben, desto weniger wird das Sonnenlicht durch die Dünste der Erde geschwächt, und je weiter wir im Sommer nach dem Norden vorschreiten, desto längere Zeit währet der Tag.

Für die Pflanzen-Kultur ist der Temperatur-Verlauf im Jahr nach zwei Richtungen hin von Bedeutung, nämlich in Bezug auf die Kulturfähigkeit gewisser Pflanzenarten über-

haupt, sowie ferner in Bezug auf den Ertrag und Gehalt der betreffenden Pflanzen an wertvollen Bestandteilen.

Die Kultur unserer Cerealien und anderer Kulturpflanzen ist durch die Ansprüche beschränkt, welche die betreffenden Pflanzen an die Temperatur stellen. Die letzten Fröste, die im Frühjahr noch auftreten, und die ersten, welche sich im Herbste einfinden, sind die scharfen Grenzen für die Vegetation. Können auch häufig Temperaturen, selbst wenn sie wenig unter 0° sinken, von den vegetierenden Pflanzen ohne Nachteil ertragen werden, so kann man in landwirtschaftlicher Beziehung doch kaum mehr auf eine vorteilhafte Kultur rechnen, nachdem einmal die ersten Fröste eingetreten sind. Die Vegetation der Pflanze darf also nur die Zeit beanspruchen, die zwischen dem letzten und ersten Froste des Jahres liegt. Der hohe Norden, in welchem die Temperatur nur wenige Monate hindurch den Pflanzenwuchs gestattet, kann in dieser kurzen Zeit doch noch Kulturpflanzen selbst bis zur Reife bringen, aber es sind nur solche, die — wie die Gerste — eine kurze Vegetationszeit besitzen.

Für das Temperatur-Bedürfnis der Kulturpflanzen gewinnen wir einen ungefähren Anhalt, wenn wir die nördlichsten Kulturgrenzen der Getreidearten oder die höchsten noch möglichen Kulturen in den Gebirgen in Vergleich mit den dortigen Temperaturverhältnissen ziehen.[27])

Die Gerste (Hordeum vulgare) ist unter den Cerealien diejenige, welche am weitesten im Norden gebaut werden kann; sie gedeiht noch und bringt alljährlich reife Frucht im Kirchspiel Alten in West-Finnmarken (70° n. Br.). Die mittleren Temperaturverhältnisse[28]) bei Alten kann man nach den Beobachtungen von Kupferwerk (= 69° 57′ n. Br. und 40° 42′ östl. L. von Ferro) oder nach den Beobachtungen von Kaafjord (= 69,9° n. Br. und 40,9° östl. L. von Ferro) folgendermaßen annehmen:

	Kupferwerk	Kaafjord
Januar	— 7,49 ° C.	— 7,7 ° C.
Februar	— 8,96 „	— 9,2 „
März	— 5,99 „	— 6,5 „
April	— 0,70 „	— 1,2 „
Mai	4,53 „	4,2 „
Juni	9,41 „	9,1 „
Juli	13,11 „	12,6 „
August	13,25 „	12,6 „
September . . .	7,30 „	6,8 „
Oktober	0,34 „	0,1 „
November . . .	— 4,04 „	— 4,0 „
Dezember . . .	— 5,63 „	— 5,6 „

Die Gerste wird in Alten gewöhnlich Ende Mai oder Anfang Juni gesäet, Mitte Juli bildet sie Ähren und Ende August wird sie geerntet. Das Stroh erreicht eine Höhe von 110—125 cm. In dem etwas nördlicher gelegenen Hammerfest (70 ° 37 ' n. Br. und 41 ° 22 ' östl. L.) in West-Finnmarken ist der Anbau der Gerste nicht mehr möglich; nur ganz ausnahmsweise, in warmen Sommern, wurde dort noch reife Gerste erzielt. Die Durchschnitts-Temperaturen für die betreffenden Monate betragen für Hammerfest (9 m Höhe)

Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
3,2	7,6	11,3	10,7	6,8	1,2 ° C.

Ebenso wird auch die Gerste noch am höchsten im Gebirge gebaut. In Norwegen kann sie nach Schübeler noch gebaut werden:

			die Schneegrenze liegt	
in Valders (61 °)	bis zu 2700 '	(61—61,5 ° n. Br.)	4000—5320 '	üb. d. Meere,
? (64 °)	„ „ 1100 '	(67 ° n. Br.)	3730 '	„ „ „

Die Möglichkeit, Gerste in so hohen Breiten und in solcher Erhebung über dem Meere noch anbauen zu können, liegt in der kurzen Vegetationszeit, welche die Gerste beansprucht. Eine Temperatur, welche im Mittel beträgt für die Monate:

Mai	= 4,0	° C.
Juni	= 9,0	"
Juli	= 12,5	"
August	= 12,5	"
(September	= 7,0	")

genügt für die Vegetation der Gerste, um in ungefähr 90 Tagen ihren Lebenslauf von der Keimung bis zur Samenreife zu beenden. — An den Ufern des Nils gebraucht die (6zeilige) Gerste, um ihren Kreislauf zu vollenden, ebenfalls 90 Tage, obgleich hier eine mittlere Temperatur von 21 ° C. auf sie einwirkt, und in Bechelbronn (im Elsaß) vegetierte die Gerste 92 Tage bei einer mittleren Temperatur von 19 ° C. (nach Boussingault).

In Mecklenburg beträgt im Durchschnitt die Vegetationsdauer der (vierzeiligen) Gerste ebenfalls 90 Tage.

Der Hafer. Derselbe besitzt eine um mehrere Wochen längere Vegetationszeit als die Gerste, er kann deshalb weder so weit im Norden, noch so hoch über dem Meere angebaut werden wie die Gerste. — In Schweden baut man den Hafer bis 67 ° n. Br. Oberhalb Umea (63 ° 50 ' n. Br. und 20 ° 16 ' östl. L. v. Gr.) kommt er aber selten zur Reife. Die mittleren Temperaturen für Umea betragen:

Januar	—11,5	° C.
Februar	— 9,5	"
März	— 5,5	"
April	1,1	"
Mai	6,3	"
Juni	12,5	"
Juli	16,2	"
August	13,6	"
September	8,7	"
Oktober	3,4	"
November	3,1	"
Dezember	— 4,0	"

In Norwegen wird der Hafer ungefähr zwischen 58 bis

64° n. Br. noch gebaut. Die Temperatur für Ytteröen (63,8° n. Br., 28,9° östl. L. v. Ferro) beträgt:

Januar	— 2,8° C.
Februar	— 2,8 „
März	— 0,9 „
April	3,0 „
Mai	7,7 „
Juni	12,1 „
Juli	13,9 „
August	14,9 „
September	12,1 „
Oktober	4,7 „
November	0,5 „
Dezember	— 2,1 „

In Alten (70°) wird der Hafer nie reif. Bei Röros (62° 34' n. Br., 29° 3' östl. L.), wo der Hafer als Grünfutter gebaut wird, giebt derselbe in einer Meereshöhe von 650 m noch zuweilen reifes Korn. In Schweden reift der Hafer bei Serna in Dalarne (61° 40' n. Br.) bis zu einer Höhe von ca. 455 m über dem Meere.

Man kann hiernach das vom Hafer beanspruchte Wärme-Minimum ungefähr folgendermaßen annehmen:

Mai	Juni	Juli	August	September,
6,5	12,0	14,0	13,5	9° C.

Doch ist wesentlich der Eintritt des ersten Frostes für die Kultur des Hafers von Bedeutung. — Nach Schübeler ist der Hafer in Norwegen diejenige Getreideart, welche am meisten vor der Reife durch Frost zerstört wird. Gewöhnlich treten daselbst in der Zeit vom 20.—24. August die ersten Fröste ein, welche großen Schaden verursachen und in Norwegen ebenso gefürchtet sind, wie die „drei Heiligen des Frostes" (11.—14. Mai) in Deutschland. Im Jahre 1869 wurde in Vardö (70,4° n. Br., 48,8° östl. L. v. Ferro, 13 m Höhe) Hafer anzubauen versucht. Derselbe wurde dort aber nicht reif. Die mittlere Temperatur daselbst beträgt:

Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
1,8	5,9	8,8	9,8	6,4	1,3° C.

Die Temperatur liegt hiernach also beträchtlich tiefer, als in den Gegenden, in welchen nach Obigem die Hafer-Kultur noch möglich ist.

Weizen. Nach Schübeler übersteigt in Norwegen weder der Winter- noch der Sommer-Weizen eine Höhe von etwa 314 m über dem Meere. Die Polargrenze reicht kaum bis 65°, doch hat man fast jährlich Beispiele, daß der Sommer-Weizen sogar bis Alstadhang (65° 54′), Gildeskaal (67° 4′), Bodö (67° 17′) und Skogshavn auf der Insel Dyrö (69° 5′) reifen kann. Im Jahre 1870 erhielt Schübeler eine Probe schönen Weizens, welcher in Skibotten, im Kirchspiel Lyngen (69° 28′ nördl. Br. und 38° 0′ östl. L. von Ferro) reif geworden war. Der Sommer-Weizen war am 9. Mai gesäet, am 23. Mai aufgegangen und am 30. August (also nach Verlauf von 114 Tagen) reif geworden. Die Temperaturen in dieser Zeit betrugen:

Mai	Juni	Juli	August
5.16	13,12	13,13	12,87° C.,

während die Durchschnitts-Temperatur daselbst beträgt

Mai	Juni	Juli	August	September
5,2	11,5	13,9	12,7	8,3° C.

Die Temperatur in Bodö (7 m Höhe) beträgt im Mittel

Mai	Juni	Juli	August	September
4,8	9,4	12,5	12,2	8,8° C.

Roggen. In Norwegen liegt die Roggengrenze nach Schübeler ungefähr bei 69 bis 69,5°. Bei Svanewig in Süd-Varanger (69° 30′ nördl. Br. und 47° 51′ östl. L.) gelangte der Winter-Roggen, bei mehrjährigen Versuchen, niemals zur Reife. In Schweden wird Roggen an der Küste bis Haparanda, oder ungefähr bis 66° gebaut; weiter nach Norden wird die Ernte unsicher und in Sodankylä, Kirchspiel in Kemi Lapmark (67,5°) wurde nach Wahlenberg in 15 Jahren nur 2 Mal reifer Roggen erzielt. — Es ist mir leider nicht möglich gewesen, die Durchschnittstemperaturen für diese Orte in Erfahrung zu bringen.

Die Kartoffel wird noch höher und nördlicher (und östlicher) als die Gerste gebaut. In Alten (70 °) fand Schübeler am 20. Juli ein Kartoffelfeld in voller Blüte (die Kartoffeln waren am 2. Juni gelegt); in Vadsö, an der nördlichen Küste des Varanger-Fjord (70 ° 4′ nördl. Br. und 47 ° 27′ östl. L.) erntet der Prediger nach Schübeler seinen jährlichen Bedarf an Kartoffeln selbst und sogar in dem Fischerhafen Skarsvaag (Insel Magerö, 71 ° 7′ n. Br. und 43 ° 28′ östl. L.), ungefähr eine Meile vom Nordcap, hat man mit Erfolg Kartoffeln gebaut. — In Qvickjock in Norbotten (67 ° 8′ und 302 m über d. M.) erntet man noch 8—12fältig. (Legezeit: Anfang Juni; Ernte: Anfang September); bei dem Flecken Ustzylma (Gouvernement Archangelsk 65 ° 26′ nördl. Br. und 69 ° 49′ östl. L.) werden Kartoffeln nur haselnußgroß. „Die evangelische Missions-Station Hebron (58 ° 15′) ist der nördlichste Punkt an der Ostküste Nord-Amerikas, wo die Kartoffel noch gedeiht. Im Jahre 1857 erntete man dort eine Kartoffel, die 319 g wog, und 186—249 g schwere Kartoffeln gab es ganze Körbe voll; auch waren sie ziemlich schmackhaft.“ Auf dem Kontinent von Nord-Amerika ist Fort Norman am Mackenzie der nördlichste Punkt, wo Kartoffeln gebaut werden können (65 °). An einigen der oben genannten Orte, an welchen noch Kartoffeln angebaut werden können, beträgt die Temperatur im Mittel: °)

	Magerö 71 ° 10′ n. Br. 26 ° 1′ östl. L. v. Gr.	Archangelsk 64 ° 32′ n. Br. 40 ° 33′ östl. L. v. Gr.	Hebron 58 ° n. Br. 64 ° östl. L. v. Gr. (n. zweij. Beobacht.)
April . .	—1,10 ° C.	0,34	—8,43 ° C.
Mai . .	1,15 „	5,38	—0,56 „
Juni . .	4,53 „	12,88	2,56 „
Juli . .	8,11 „	16,01	6,43 „
August .	6,50 „	14,21	9,50 „
September	3,11 „	8,68	3,80 „
Oktober .	0,0 „	1,79	—1,43 „

Die Temperaturen für Magerö und Hebron sind so gering, daß es unwahrscheinlich ist, daß unter ihnen eine Vegetation der Kartoffel stattgefunden hat (die Temperatur, welche zum Auskeimen der Kartoffel erforderlich ist, beträgt 12 ° C. [s. Seite 150]). Wahrscheinlich haben die Kultur-Versuche in ausnahmsweise warm gelegenen Örtlichkeiten stattgefunden, auf welche die obigen Temperaturen nicht bezogen werden können.

Von anderen Kulturpflanzen sind noch für den Wein die Temperaturen bekannt, welche in der Königl. Obst- und Gewächstreiberei in Kopenhagen angewendet werden[p]); dieselben können natürlich nicht als minimale Temperaturen angesehen werden, sondern müssen als Optima für die Weinkultur betrachtet werden; sie betragen:

in der ersten Woche der Vegetation	10—12 ° C.
in der zweiten Woche der Vegetation	12—15 „
späterhin bis vor der Blüte	20—23 „
während der Blüte	15—18 „
bis zum Ausbeeren (vorsichtiges Entfernen der zu dicht sitzenden Beeren)	15—18 „
von da bis zur Reife	20—25 „

Nach zweijährigen Beobachtungen des Verfassers in den Jahren 1878 und 1879 genügen die Temperaturverhältnisse Rostocks nicht, um die gelbe Sojabohne zur Reife zu bringen. Dagegen wurde dieselbe Pflanze reif unter den Temperaturverhältnissen von Wien und Graz; die Temperaturen betrugen:

	Rostock 1878*	Rostock 1879**	Wien[q])	Graz[q])
April . .	7,9	4,9 ° C.	10,2 ° C.	9,4 ° C.
Mai . .	11,9	10,9 „	15,7 „	14,4 „
Juni . .	15,4	15,5 „	18,9 „	18,4 „
Juli . .	15,9	15,5 „	20,6 „	19,6 „
August .	17,4	17,0 „	20,1 „	19,0 „
September	13,9	13,9 „	15,8 „	15,0 „
Oktober .	9,7	8,6 „	10,4 „	10,6 „

*) Am 10. Mai — 1 ° C., am 31. Oktober 0,8 ° C.

**) Am 1. Mai — 2 ° C., am 16. Oktober —2,5 ° C.

Namentlich scheinen die Temperaturen während des Septembers und Oktobers nicht hoch genug, um die Sojabohnen zur Reife zu bringen.

Die Zuckerrüben-Kultur kann noch da mit Erfolg getrieben werden, wo folgende Temperaturen herrschen[R]):

	Tagesmittel	mittleres Maximum am Tage
April	8,5 ° C.	14,4 ° C.
Mai	11,0 „	16,7 „
Juni	15,0 „	21,4 „
Juli	17,5 „	23,2 „
August . . .	17,5 „	23,8 „
September . .	15,0 „	20,2 „
Oktober . . .	7,5 „	10,3 „

Auf die Kulturfähigkeit der Pflanzen in bestimmten Klimaten hat die Temperatur während der einzelnen Vegetationsstadien den größten Einfluß. Es ist durchaus nicht notwendig, daß den Pflanzen während ihrer ganzen Vegetationszeit eine gleichmäßige Temperatur zur Verfügung steht; es scheint vielmehr für das Gedeihen der Pflanze vorteilhafter, daß gewisse Temperatur-Differenzen während der einzelnen Vegetationsphasen stattfinden. In der Regel werden die Pflanzen zu ihrem Keimungsprozeß den geringsten Temperaturgrad bedürfen, einen höheren für das Wachstum der vegetativen Organe, und den höchsten zur Zeit der Reife, der Stoffumbildung und Reservestoffablagerung.

Für den ersten Lebensvorgang, den Keimprozeß, haben wir schon früher einige Minimal-Temperaturen angegeben. Für eine größere Reihe von Kulturpflanzen wurde das Temperatur-Minimum für die Keimung von Friedr. Haberlandt[S]) festgestellt. Derselbe erhielt nachstehende Ergebnisse:

Zur Keimung gelangten, als die Temperatur mindestens betrug:

1 ° C. : weißer Senf, Leindotter, Rotklee, Luzerne,
1—2 „ : Roggen, Hanf, Erbsen, Wicken,
2—3 ° C. : Raps, Lein, Hopfenluzerne,
3 „ : französisches Raigras,
3—4,5 „ : Weizen, Gerste, engl. Raigras, Lieschgras, Mohn, Ackerbohne,
4—5 „ : Hafer, Möhre, Zuckerrübe, Linsen, Lupinen,
8—9 „ : Kümmel, Sonnenblume,
8—10 „ : Mais, Moorhirse,
10 „ : Fisolen,
10—12 „ : Reis,
12 „ : Baumwollsamen, Gurken, Kürbis,
12—15 „ : Melonen,
13—14 „ : Tabak,
14—15 „ : Rizinus.

Diese Resultate stimmen im Wesentlichen mit den Ergebnissen anderer Forscher (siehe Seite 140) überein, wenn auch einzelne geringe Abweichungen stattfanden. Schon die verschiedene Abstammung des Samenkorns derselben Pflanzenart wird wahrscheinlich kleine Unterschiede in der Keimtemperatur veranlassen; die Pflanzen aus kälteren Gegenden werden geringere, aus wärmeren Gegenden höhere Keimtemperaturen beanspruchen. — Bemerkenswert ist, daß nach der vorstehenden Zahlenreihe alle diejenigen Pflanzen, welche gewöhnlich nur in den wärmeren Gegenden wachsen (Tabak, Rizinus, Baumwollsamen, Reis u. s. w.), auch eine hohe Keimtemperatur beanspruchen.

Nach Versuchen, die Briem[T]) anstellte, ist die günstigste Pflanzzeit für Rüben und Kartoffeln, wenn die mittleren Tages-Temperaturen betragen:

für Zuckerrüben = 9,5 ° C.
für Kartoffeln ca. = 12 „

Zu Arras in Frankreich werden die Zuckerrüben Anfang April gesäet, zu welcher Zeit die Durchschnitts-Temperatur 9,8 ° C. beträgt. Als bei den Versuchen von Pagnoul[U]) im

Jahre 1879 die Temperatur nur 7,6 ° C. betrug, gingen die Rüben spät und ungleichmäßig auf.

Die Kenntnis der Minimal-Temperaturen für die Keimung der Pflanzen hat eine gewisse praktische Bedeutung. Bei Aussaat der Samen soll im Allgemeinen der Zeitpunkt gewählt werden, wo die mittlere Temperatur die Minimal-Temperatur für die Keimung erreicht. Je früher die Kulturpflanzen zur Keimung kommen, desto längere Vegetationszeit gewinnen sie, und da man die Ernte-Erträge als das Produkt der Wirksamkeit aller betreffenden Faktoren und der Zeit ansehen kann, so ist die Wahrscheinlichkeit für eine größere Ernte bei früher Saat vorhanden. — Doch liegen die Verhältnisse nicht so einfach, wie sie auf den ersten Blick erscheinen. Die mittägige Temperatur wird natürlich immer höher liegen, als die mittlere Tages-Temperatur; die Pflanzensamen können daher am Tage, geweckt durch die höhere Temperatur, bereits keimen, während des Nachts wegen der geringeren Temperatur der Keimprozeß wieder sistiert wird. Auf diese Weise kann die Keimung der Samen bei Temperaturen verlaufen, deren Mittel die obige niederste Temperatur nicht erreicht. Trotzdem wird die mittlere Tages-Temperatur mit Vorteil hier als Anhalt dienen können, weil man dann die größere Sicherheit für einen raschen Verlauf der Keimung besitzt. Das Säen und Pflanzen soll nicht früher vorgenommen werden, als dem Minimum der Keim- resp. Vegetationszeit entspricht, denn je länger die Pflanzensamen im Boden liegen, desto längere Zeit sind sie den Angriffen des Ungeziefers und sonstigem Verderben ausgesetzt; es soll aber (wenn nicht Nachtfröste hiervon abhalten) auch nicht später erfolgen, weil man, wie erwähnt, bei einer verlängerten Vegetationszeit auch zu größeren Erwartungen für die Ernte berechtigt ist. —

Was nun die nötige Minimal-Temperatur für das Wachstum (nicht keimender Pflanzen) betrifft, so besitzen wir darüber gegenwärtig noch gar keine Untersuchungen, ebensowenig über die nötige Temperatur des Reifeprozesses. Für die Vegetation der Zuckerrübe scheint aus den Versuchen von Pagnoul[U])

hervorzugehen, daß „die Rübe unter 13° C. aufhört mit Nutzen zu wachsen". Bei solchen mittleren Temperaturen vermehrte sich wesentlich weder das gesamte Gewicht der Zuckerrübe, noch der Zuckergehalt.

Die Neubildung organischer Stoffe aus den unorganischen Nährstoffen, der Assimilationsprozeß, wird um so günstiger verlaufen, je mehr die obwaltende Temperatur am Tage mit dem Optimum übereinfällt. Ob die Optima für die verschiedenen Kulturpflanzen verschieden liegen, ist noch nicht bekannt und unwahrscheinlich; vermutlich werden sie ebenfalls (wie für Hottonia bestimmt wurde) annähernd bei 30° C. liegen.

Für die Produktion von organischen Stoffen durch die Pflanze ist der Verlauf der Temperaturen während der verschiedenen Tageszeiten von höchster Bedeutung. Wir haben bereits früher gesehen, daß die Assimilation an das Sonnenlicht gebunden ist; die betreffenden Neubildungen werden also nur am Tage vor sich gehen und Nachts ganz ruhen. Für die Leistung der Pflanze ist es daher von höchster Bedeutung, daß am Tage bei günstiger Sonnenbeleuchtung die Temperatur sich dem Optimum nähert. Sobald dagegen die Assimilationsvorgänge stille stehen (in der Nacht), ist eine Verminderung der Temperatur von Vorteil. Der Grund hierfür wird leicht erkenntlich, wenn wir den Stoffverlust ins Auge fassen, den die Pflanzen durch Atmung erleiden. Durch die Versuche Seite 17 ff. wurde nachgewiesen, daß die Pflanzen mehr als $^1/_3$ ihres Gewichts an Erntetrockensubstanz durch Atmung verlieren. Dieser Verlust war festgestellt worden bei Temperaturen, welche ungefähr den mittleren Tages-Temperaturen der betreffenden Vegetationsstadien entsprachen. Nun ist aber die Atmungsenergie wesentlich abhängig von der Temperatur; sie ist gering bei niederen Temperaturen und steigt bei höheren. Für die Haferpflanze wurden für verschiedene Temperaturen folgende Atmungsgrößen gefunden. Die in Untersuchung gezogenen Pflanzen standen in der achten Woche ihrer Vegetation (vom Saat-Tage an gerechnet) und hatten sämtliche Blätter entwickelt.

Versuchs-Temperatur ° C.	Trockensubstanz der in Untersuchung gezogenen Pflanze g	In 24 Stunden entwickelte Kohlensäure ccm	Auf 1 g Trockensubstanz berechnet sich Kohlensäurebildung ccm
14—15	0,604	7,1	10,1
20,5	0,971	35,0	36,1
25,0	1,055	104,0	99,5
30,0	1,593	156,0	97,9
35,0	2,609	192,0	73,6
40,0	1,400	60,0	42,9

Die Zahlen beweisen, welcher bedeutende Unterschied für den Stoffverbrauch durch Atmung je nach der Temperatur herrscht.

Die Atmung verläuft bei den Pflanzen ununterbrochen, Tag und Nacht. Da unter gewöhnlichen Verhältnissen am Tage (im Sonnenlichte) die Kohlensäurezersetzung durch die grünen Pflanzenteile bei weitem überwiegt, so wird am Tage die Wirkung der Atmung weniger bemerkbar. Anders jedoch des Nachts; hier, wo keine Assimilation erfolgt, tritt die Atmung um so merkbarer hervor und sie ist (bis zu einem gewissen Grade) um so größer, je höher die Nacht-Temperatur ist; bei niedriger Temperatur werden dagegen weniger Stoffe zur Atmung verbraucht, und dies ist für den Haushalt der Pflanzen natürlich um so vorteilhafter.

Eine Steigerung der Atmung findet jedoch in den obigen Versuchen nur bei einer Temperaturerhöhung bis gegen 25° C. statt, bei noch höheren Temperaturen vermindert sich dann die Atmung. Wir müssen also für die Atmung ebenfalls ein Optimum der Temperatur annehmen, wie für die andern Lebensvorgänge in der Pflanze. Das Optimum der Atmung der Haferpflanze wird zwischen 25 und 30° C. liegen. — Es ist dies besonders deshalb hervorzuheben, weil Ad. Meyer aus seinen eigenen Versuchen gefolgert hatte, daß das Optimum der Atmungstemperatur wahrscheinlich zusammenfalle mit dem Temperatur-Maximum der Lebensfähigkeit der Pflanze

überhaupt.[v]) Meyer fand bei dem keimenden Weizen noch eine Zunahme der Atmung bis zu 40 ° C.

Jedenfalls ist die Atmung ein wichtiger und notwendiger Prozeß für das Leben der Pflanzen; er kann und darf nicht unterdrückt werden, so lange die Pflanzen lebensfähig bleiben sollen; für welche physiologischen Vorgänge die Atmung dient, ist uns zur Zeit fast noch so gut wie unbekannt; wir wissen nur, daß die Pflanzen atmen müssen, wenn sie am Leben erhalten bleiben sollen. Aber wie wir bei den meisten anderen Lebensvorgängen gesehen haben, so kann auch der Atmungsprozeß ein gewisses notwendiges Maß überschreiten; über dieses Maß hinaus nützt die Atmung nicht nur nichts, sondern sie schadet geradezu, indem sie durch gesteigerten Stoffverbrauch dem Organismus plastisches Material entzieht, die durch die Assimilationsthätigkeit gebildeten Produkte wieder zerstört und in Kohlensäure (und Wasser) zerlegt. —

Läßt man Pflanzen bei Abschluß von Licht unter einer Temperatur von 25—30 ° C. vegetieren, so kann man künstlich die pflanzlichen Gewebe verhältnismäßig rasch an den plastischen Bildungsstoffen fast gänzlich erschöpfen; dieselben (mit Ausschluß der Eiweißkörper) werden verbraucht zur Atmung (und zum Wachstum, d. h. Zellstoffbildung).

Als die günstigste Temperaturverteilung wird es für die assimilierenden Kulturpflanzen angesehen werden müssen, wenn am Tage die Temperatur das Optimum für die Assimilation erreicht, des Nachts aber sich so tief erniedrigt, als dies die Pflanzen in Beziehung auf Kältewirkung ohne Nachteil noch ertragen können. Die Temperatur kann also am Tage bis auf 30 ° C. steigen, Nachts bis auf 4—5 ° C. fallen. Durch solche Temperaturschwankungen werden die Pflanzen nicht geschädigt; sie haben vielmehr den größten Vorteil davon, weil dann am Tage die Assimilation mit größter Intensität verläuft, des Nachts der Stoffverbrauch durch Atmung auf ein Minimum herabgedrückt wird.

Berücksichtigt man diese thatsächlichen Verhältnisse, so werden viele Erscheinungen klar, die man bisher noch

nicht erklären konnte. So wurde z. B. von vielen Leuten behauptet, daß das Mondlicht einen besonders günstigen Einfluß auf die Reife mancher Früchte, namentlich der Weintraube besitzen sollte. Nun weiß man durch Versuche hinlänglich, daß das Mondlicht eine so geringe Intensität besitzt, daß es die physiologischen Vorgänge in den Pflanzen sicher nicht beeinflussen kann. Und doch konnte den Beobachtungen der Wein-Produzenten nicht widersprochen werden, denn man kann nicht leugnen, daß viele helle Mondschein-Nächte im Herbst, wenn der Wein reift, auf die Qualität der Traube von gutem Einflusse sind. Nun ist bei hellem Mondschein der Himmel notwendig wolkenlos oder wolkenarm; bei unbedecktem Himmel ist bekanntlich die Wärmestrahlung aus dem Boden eine hohe; aus diesem Grunde steht notwendiger Weise eine relativ niedrige Temperatur mit hellen Mondschein-Nächten in unmittelbarem Zusammenhang. Die günstige Wirkung wird also nicht dem Mondschein, sondern der verminderten Nacht-Temperatur zugeschrieben werden müssen, denn hierdurch wird die Atmungsintensität vermindert, einem zu großen Stoffverbrauch gesteuert werden. Da nach aller Wahrscheinlichkeit zur Atmung zuckerartige Stoffe verbraucht werden, so werden diese Stoffe bei verminderter Atmung den Trauben erhalten, die Trauben werden zuckerreicher und also qualitativ besser sein. Sind im Gegensatz hierzu die Nächte warm, so wird ein großer Stoffverbrauch stattfinden, die Qualität der Trauben muß geringer werden.

Was für die Weintraube gesagt wurde, gilt auch für die anderen Früchte; für sämtliche ist eine hohe Tages-Temperatur und eine geringe Nacht-Temperatur am vorteilhaftesten.

Bei vorgeschrittenem Sommer ist es schwer, einzelne Kulturpflanzen, die sonst im zeitigen Frühjahr gesäet werden, zur normalen Entwickelung zu bringen. Verfasser vermochte z. B. vom Hafer im Sommer im Vegetationshaus immer nur schmächtige Exemplare zu erzielen; sie erreichten zwar eine normale Höhe, besaßen aber immer mehr oder weniger den Habitus kränkelnder Pflanzen (dünn, leicht zum Lagern ge-

neigt). Auch diese Erscheinung läßt sich darauf zurückführen, daß die jugendlichen Pflanzen, die wegen ihres relativ hohen Eiweißgehaltes sehr stark atmen, in der hohen Nachttemperatur des Sommers (und im Gewächshause!) einen verhältmäßig zu großen Prozentsatz der plastischen Stoffe durch Atmung verlieren; dieser Verlust macht sich dann durch mangelhaften Aufbau der Vegetationsorgane bemerkbar.

Auch für die künstliche Treiberei der Früchte in den Gewächshäusern sind diese Verhältnisse von großer Bedeutung. Hier sollte man eine gleichmäßige Temperatur während des Tages und der Nacht sorgfältig vermeiden; am Tage muß die Temperatur hoch, des Nachts niedrig gehalten werden, wenn eine gute (süße) Frucht erzielt werden soll.

Nur für die Futtergewächse könnte eine gewisse Ausnahme gelten, so weit es nämlich die Masse der Ernte betrifft. Das Wachstum, die Zellenvermehrung, also die reine Größenzunahme der Gewächse kann ebensowohl am Tage als auch während der Nacht stattfinden; nach einigen Forschern soll das Längenwachstum der Pflanzen während der Nachtstunden sogar ein beträchtlicheres sein, als in den Tagesstunden. Das reine Wachstum wird deshalb in warmen (dabei feuchten) Nächten ein viel günstigeres sein, als wenn die Nächte kühl sind. Man wird unter solchen Witterungsverhältnissen große Massen ernten, aber das Futter wird bei weitem nicht so gehaltreich an Nährstoffen sein.

Alle diese erörterten Verhältnisse deuten darauf hin, daß die mittlere Temperatur zur richtigen Beurteilung der Vegetationsverhältnisse eben so wenig brauchbar ist, als die mittlere Jahres-Temperatur. Die Temperaturen am Tage und in der Nacht haben für die Pflanzen eine ganz verschiedene, entgegengesetzte Bedeutung[29]) und es ist deshalb notwendig, daß von den meteorologischen Beobachtungsstationen die Tages- und Nacht-Temperaturen getrennt aufgezeichnet und bekannt gemacht werden. —

Wir haben nun unsere Aufmerksamkeit noch auf eine andere Beziehung der Wärme zur Pflanzenproduktion zu richten.

Im Eingange dieses Kapitels haben wir die Minimal-Temperaturen zu ermitteln gesucht, welche für einige unserer Kulturpflanzen erforderlich sind. Wir haben gesehen, daß die Kulturfähigkeit der Pflanzen meistens nur durch die letzten und ersten Fröste im Jahre bedingt wird.

Die Möglichkeit, Pflanzen unter den Temperaturverhältnissen einer Gegend noch bis zur Samenreife zu bringen, hat in landwirtschaftlicher Beziehung nur eine untergeordnete Bedeutung. Die Pflanzen können ihre Vegetationsphasen zur Not durchlaufen, aber ohne befriedigende Stoffproduktion; sie können selbst reifen Samen [30]) produzieren, aber doch nicht produktiv genug sein, um eine Kultur zu lohnen. Mit anderen Worten: In landwirtschaftlicher Beziehung genügt es nicht, daß eine Kulturpflanze ihren Lebenskreis unter den herrschenden klimatischen Verhältnissen zu durchlaufen vermag, die größere Bedeutung liegt vielmehr darin, daß sie so viel Stärke, Zucker, Öl, Proteïn — überhaupt solche Stoffe, wegen deren die Kultur erfolgt — produziert, daß ihre Kultur eine lohnende wird. Im hohen Norden werden zwar noch Gerste, Kartoffeln, Roggen u. s. w. kultiviert, die Erzeugnisse dieser Pflanzen sind aber verhältnismäßig dürftig; die geringe Temperatur bewegt sich nahezu an dem Temperatur-Minimum, in Folge dessen ist die Produktion, nicht nur an Trockensubstanz, sondern hauptsächlich an Stärke, Zucker u. s. w. eine geringe. — Wenn man in Norwegen nahe am Nordkap noch Kartoffeln anbaut, wo die mittlere Tages-Temperatur in dem wärmsten Monate (August) 10 ° C. noch nicht erreicht (?), so werden wahrscheinlich diese Kartoffeln unseren Anforderungen bezüglich der Quantität und Qualität nicht genügen. — Verfasser hatte Gelegenheit, Roggen aus Umea (63 ° 50′ n. Br. und 20 ° 10′ östl. L. v. Gr.) zu untersuchen, der also noch weit unterhalb der nördlichsten Grenzlinie gewonnen und als Saatgetreide von da bezogen wurde. Aber selbst unter den dortigen verhältnismäßig noch günstigen Temperaturverhältnissen wurde ein Roggenkorn erzielt, das man anderwärts nur als „Schmachtkorn“ bezeichnet haben würde. 1000 Körner

davon wogen 17,9 g, während 1000 Körner von guter, den deutschen Landwirt befriedigender Roggensaat 35,5—37,3 g wiegen, also das Doppelte des Roggenkornes aus dem Norden. Die Wärmemengen scheinen also bereits in Umea zu gering zu sein, als daß daselbst eine genügende Menge Stärke von der Roggenpflanze produziert werden könnte.

Also nicht die notdürftige Vegetation der Pflanze von der Keimung bis zur Samenreife, sondern das Quantum der während des Lebensprozesses produzierten wertvollen Stoffe (Zucker, Stärke, Öl, Proteïn u. s. w.) sind in landwirtschaftlicher Beziehung von Bedeutung. Es ist auch hier wieder darauf zurückzukommen, daß die günstigsten (idealen) Temperaturen für Maximalproduktionen wahrscheinlich am Tage bei ca. 30° C., des Nachts bei 4—5° C. liegen werden. Genaue Bestimmungen und Berechnungen darüber fehlen zur Zeit noch ganz. Unter natürlichen Verhältnissen ist die Erforschung dieser günstigsten Temperatur-Verhältnisse deshalb mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft, weil die Temperatur immer nur einer von den Faktoren der Pflanzenproduktion ist, und weil alle andern Faktoren in reichlichem Maße vorhanden sein müssen, wenn der Einfluß der Temperatur allein hervortreten soll. Solche günstigen Umstände werden sich aber unter natürlichen Verhältnissen nur selten finden.

Von Schübeler[w]) ist zuerst darauf aufmerksam gemacht worden, daß die Zuckermengen in den Früchten abnehmen, je höher man nach Norden kommt. In Amerika enthalten nach William H. Prescott[x]) die Maisstengel ebenfalls um so weniger Zucker, je höher im Norden sie gewachsen sind.

Die Pflanzen sind aber in den kälteren Zonen der Erde nicht allein an Zucker, sondern an allen übrigen Bestandteilen, den Reservestoffen, ärmer, als in den wärmeren Zonen; der fehlende Zucker in den Früchten verräth sich nur am ehesten durch den Geschmack; die Früchte aus kälteren Gegenden werden sauer. Zunächst bildet die Pflanze die vegetativen Organe, das Zellgerüst, wozu die Assimilationsprodukte verwendet

werden; der Überschuß erst wird als Reservestoff abgelagert, sei dies nun als Zucker, oder als Stärke, oder als Öl. Und die letzteren Stoffe sind, neben dem Proteïn, diejenigen Produkte, wegen deren (in den meisten Fällen) die Kultur der zahlreichsten Pflanzen erfolgt.

Zur richtigen Würdigung der Temperaturverhältnisse der verschiedenen Jahreszeiten, wie sie an den meteorologischen Beobachtungsstationen notiert werden, ist noch Folgendes zu erwähnen.

Die sämmtlichen Temperatur-Beobachtungen der meteorologischen Stationen werden an Thermometern gemacht, welche vor dem direkten Sonnenlicht geschützt aufgehängt sind. Die abgelesenen Temperaturen sind somit nicht mit denjenigen zu vergleichen, welche die (unbeschatteten) Pflanzen direkt empfangen. Wollte man nun die Temperaturen beobachten, welche Thermometer angeben, die den direkten Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, so würde man zwar ebensowenig die Wärmegrade erfahren, welchen die Pflanzen ausgesetzt sind, denn erfahrungsgemäß ist die Erwärmung durch die Sonnenstrahlen abhängig von der Substanz und Farbe der betreffenden Körper; die Erwärmung, welche das weiße Glas und das Quecksilber des Thermometers angiebt, ist nicht maßgebend für die grüne wasserhaltige Pflanzensubstanz; immerhin würde es in pflanzenphysiologischer und landwirtschaftlicher Hinsicht von großem Interesse sein, wenn neben den Beobachtungen im Schatten auch kontinuierliche Beobachtungen des Thermometerstandes im direkten Sonnenlichte stattfänden.

Ferner:

Die Pflanzen, auch wenn sie nicht von den direkten Sonnenstrahlen getroffen werden, zeigen doch nicht die Temperaturen, welche das Thermometer im Schatten aufweist; die Temperatur der wichtigsten Pflanzenorgane, namentlich die der saftigen Blätter, ist meist *geringer*, als die der umgebenden

Luft. Die Blätter, wie alle krautigen, saftigen Pflanzenteile, verhalten sich mehr oder weniger wie das nasse Thermometer des August'schen Psychrometer's; in Folge der fortwährenden Verdunstung ist ihre Temperatur eine niedrigere, als die der umgebenden Luft. Je krautiger, saftiger und jünger die betreffenden Organe sind, desto stärker ist ihre Verdunstung, und desto mehr wird ihre wirkliche Temperatur sich der des nassen Thermometers des August'schen Psychrometer's nähern; je trockner die Pflanzensubstanz ist, je mehr ihre äußerste Oberfläche von solchen Bildungen umgeben ist, welche die Verdunstung hemmen (stark entwickelte Cuticula, Korkgewebe, Borke), desto mehr werden sich die Temperaturen dieser Organe den Angaben des trocknen Thermometers nähern.

Wie erwähnt, erniedrigen die Blätter ihre Temperatur durch die Verdunstung von Wasser. Dieser Umstand ist deshalb von größter Bedeutung, weil die Blätter die Organe sind, in welchen die Assimilationsvorgänge stattfinden (wobei unzweifelhaft Wärme verbraucht wird). Es ergiebt sich hieraus, wie wichtig in physiologischer Hinsicht die Kenntnis derjenigen Temperatur ist, welche verdunstende Körper unter den obwaltenden Verhältnissen annehmen.

Von den meteorologischen Beobachtungsstationen werden bereits Beobachtungen über die Temperatur nasser (verdunstender) Körper gemacht (das nasse Thermometer des August'schen Psychrometers). Das Material liegt also hierfür bereits vor, und es bedarf nur einer Zusammenstellung desselben, um die durchschnittlichen Temperaturen verdunstender Körper in den verschiedenen Jahreszeiten zu erfahren.

Wir können annehmen, daß die wirkliche Temperatur der verdunstenden Pflanzen sich innerhalb derjenigen Temperaturen befindet, welche von den trocknen und nassen Thermometern des August'schen Psychrometers angegeben werden. Dies gilt sowohl für *beschattete* Pflanzen und Thermometer als auch für *besonnte* Pflanzen und Thermometer.

Für die Pflanzen-Kultur ist es aber nicht allein wünschenswert, die *Mittel*-Temperaturen verdunstender Körper

zu wissen, sondern ein bei weitem höheres Interesse besitzt der Pflanzen-Kultivator an den Minimal-Temperaturen verdunstender Körper, namentlich wenn sich diese Temperaturen nahe an oder unter dem Null-Punkte bewegen. Bekanntlich erfrieren die Pflanzen oft bei Temperaturen, welche noch über dem Gefrierpunkt liegen. Eine Tötung durch Frost ist nicht denkbar, wenn die Temperatur in den Pflanzen sich nicht mindestens auf 0° erniedrigt.[31]) In Wirklichkeit sind die Pflanzen auch unter solchen Verhältnissen unter 0° erkältet worden und zwar durch die Verdunstungskälte. Eine Temperatur von + 2° kann den Pflanzen in dem einen Falle ganz ungefährlich, in dem andern höchst schädlich sein; es kommt hierbei auf die begleitenden Umstände an: ist die Luft in dem einen Falle still, mit Feuchtigkeit reichlich beladen, so werden die Pflanzen diese Temperatur ohne jeden Nachteil ertragen können; ja in diesem Falle kann die Temperatur sogar, ohne Gefahr für die Pflanzen, sich bis nahe auf 0° erniedrigen. Ist dagegen die Luft sehr bewegt, dabei trocken, sind auf der andern Seite die Pflanzen sehr safterfüllt, so wird sich durch die Verdunstungskälte die Pflanzentemperatur unter 0° erniedrigen können, wenn die Luft-Temperatur noch weit über 0° liegt.

In der Nacht vom 13.—14. Mai 1882 betrug in Rostock die niedrigste Temperatur (an einem zuverlässigen [trocknen] Minimum-Thermometer abgelesen) 5° C. (Das nasse Thermometer am 13. Mai Abends 10 Uhr zeigte 4,3° C.) Dabei wurde aber entschiedener, wenn auch leichter Frostschaden beobachtet (namentlich an den jüngsten Blättern der Rothbuchen und an ganz junger, dem Winde sehr ausgesetzter Gerste; alle älteren Pflanzenorgane, welche weniger rasch verdunsteten oder vor dem Winde geschützt waren, litten keinen Schaden). Die relative Feuchtigkeit betrug:

am 13. Mai Abends 10 Uhr = 63 %
„ 14. „ Morgens 8 „ = 70 „

Während der Nacht wehte ein starker Wind aus NW.

Wie wenig das Gefühl des Menschen für die Lufttemperatur maßgebend ist, empfindet man namentlich im Frühjahr, wenn die trocknen Ostwinde wehen; bei ruhigem Wetter und bei feuchter Luft erscheint eine Lufttemperatur von 9 ° C. im Frühjahr schon recht sommerlich; bei derselben Temperatur empfindet man aber das Gefühl der Kälte, sobald die trocknen Ostwinde zu wehen beginnen. Auch hier ist es die durch die Verdunstung gebundene Wärme, welche das Kältegefühl im Körper bedingt.

Die Minimal-Temperatur verdunstender Körper ist bisher an den meteorologischen Stationen nicht bestimmt worden. Die Bestimmung der Minimal-Temperatur hat keine Schwierigkeit; es ist nur nötig, daß die üblichen Minima-Thermometer wie das nasse Thermometer des August'schen Psychrometer's behandelt werden: Die Kugel des Minimum-Thermometers ist mit Gaze zu umbinden, diese mit gewöhnlichem losen Lampendocht zu verbinden, welche aus einem Wassergefäß das Wasser kapillar zu der Gaze der Thermometerkugel leitet und diese mit Wasser benetzt. Diese nassen Minima-Thermometer müssen im Freien, und dem Luftzuge ausgesetzt, aufgestellt werden.

---

2. Die Besonnung (Lichtintensität).

Obgleich die Sonne gleichmäßig ihre Lichtstrahlen aussendet, so kommen letztere doch nicht gleichmäßig den Pflanzen der verschiedenen Erdstriche zu Gute. Die Lichtstrahlen durchlaufen zunächst die Atmosphäre und hier werden sie durch die Dünste, welche so verschiedenartig über der Erde verteilt sind, teils absorbiert, teils reflektiert, und deshalb gelangt immer nur ein größerer oder geringerer Bruchteil auf die Oberfläche der Erde. Am bedeutungsvollsten in dieser Beziehung sind die Wasserdünste der Atmosphäre, die als Nebel oder als lockere bis dichte Wolkenbildungen die Erde beschatten. Wir können in Bezug auf Besonnungsverhältnisse ein Insel- oder Küstenklima und ein Kontinentalklima unterscheiden. Die Atmosphäre

der Küsten und Inseln ist immer mehr oder weniger reichlich mit Wasserdünsten gesättigt und bietet uns England mit seinen berüchtigten Nebeltagen ein Beispiel hierfür. Der Kontinent besitzt dagegen eine größere Reinheit der Atmosphäre, wenn auch hier natürlich die größten Gegensätze aufgefunden werden. Je mehr man sich vom Norden dem Süden nähert, desto heiterer wird der Himmel, desto tiefer blau seine Farbe. Dasselbe bemerken wir auch, wenn wir uns über die Erde erheben und hohe Berge besteigen.

Jedermann weiß, daß die Beleuchtung den tiefgreifendsten Einfluß auf die Pflanze äußert. Zunächst ist es der gestaltende Einfluß des Lichts, der sich bemerkbar macht. Bei mangelhafter Besonnung bekommen die Pflanzen ein schwächliches, dürftiges Aussehen; die Stengel werden dünn und übermäßig lang. Sind die Felder zu dicht mit Getreidepflanzen bestanden, dann beschatten sie sich gegenseitig zu sehr durch ihre Blätter; in Folge des Lichtmangels treten die bekannten abnormen Wachstumsverhältnisse des Stengels auf; letztere werden lang und dünn, und dadurch zu schwach um die Pflanze zu tragen. Es erzeugt sich hierdurch das „Lagern" des Getreides. Die Keimtriebe der Kartoffeln in dem dunkeln Keller beweisen, daß das mangelnde Licht den sonst kurzen, straffen Kartoffelstengel zu einer übermäßigen Verlängerung, zu rankenartigen Formen nötigen kann. Im Gegensatz hierzu bleiben die Blätter ganz klein, rudimentär, und erlangen fast gar keine Ausbildung.

Je mehr aber das Licht auf die Pflanzen Einfluß äußern kann, desto mehr nehmen sie ihre normalen Formen an; die Stengelglieder werden kürzer, aber stärker im Durchmesser, die Blätter entfalten sich mehr und erlangen eine größere Fläche. Alles dies erfolgt in um so stärkerem Maße, je intensiver (und länger) das Licht auf die Pflanzen einwirkt. Die Stengel werden schließlich auffallend kurz, aber massig, die Blätter erlangen eine übermäßige Blattspreite. Pflanzenformen der letzteren Art treten dem Reisenden entgegen, wenn er vom Süden kommend nach dem Norden

wandert. Je mehr wir uns vom Äquator dem Nordpol zuwenden, desto ungleichmäßiger ist — für den Sommer des Nordens — Tag und Nacht. Unter dem Äquator beträgt Tag und Nacht gleichmäßig 12 Stunden, unter dem 40° nördl. Br. beträgt der längste Tag 14 Stunden 51 Min., unter dem 60° nördl. Br. 18 Stunden 30 Min., unter dem 70° nördl. Br. 6 Tage, unter dem 80° nördl. Br. aber geht 134 Tage die Sonne nicht unter. Je höher im Norden, desto andauernder wird also das Sonnenlicht auf die Pflanzen einwirken, und es wird begreiflich, daß die Pflanzen hier einen so anderen Habitus gewinnen. — Als Griesebach[Y]) im Jahre 1842 Norwegen bereiste, fiel ihm schon unter dem 60° nördl. Br. die große Blattbildung auf, besonders an der Traubenkirsche (Prunus Padus), Haselnuß (Corylus) und der Espe (Populus tremula). Martius[Z]) fand in Lappland die Blätter der Erbse fast 1 Fuß, die Blätter der Runkelrübe 21 Zoll lang. Baer[AA]) erwähnt, daß an der Ostküste des weißen Meeres (65°) die Blätter von Aconitum septentrionale einen Durchmesser von über 1½ Fuß erreichen. Ähnliches beobachtete auch Schübeler[BB]) an Pflanzen, die er von Christiania zur Anpflanzung nach Tromsö (69° 40' nördl. Br.) gesendet hatte. Von den Ahornarten Acer platanoides und Acer pseudoplatanus, die in Tromsö nur Strauchform erreichten, waren doch größere Blätter gebildet worden, als in Christiania; die Blattfläche bei beiden betrug 18 cm Länge und 20 resp. 21 cm Breite.

Außer auf die Gestaltsveränderungen scheint das Licht auch auf die Farbe zu wirken. Kein anderer Landstrich entwickelt so grelle, leuchtende Farben in den Blumen, als der Süden mit seinem „ewig klaren Himmel" und das hohe Bergland.

Aber nicht blos diese äußerlich wahrnehmbaren Vegetationserscheinungen bewirkt das Licht. Unter dem Einfluß des Lichtes werden Kohlensäure und Wasser unter Beihülfe der andern Nährstoffe und Nährsalze zersetzt, verarbeitet und

es entstehen daraus die organischen Neubildungen (Stärke), aus welchen dann durch Stoffmetamorphose die zahlreichen organischen Verbindungen hervorgehen, die wir im Pflanzenkörper vorfinden. Jede Neubildung von organischer Substanz unterbleibt, sobald das Licht keinen oder nicht genügenden Einfluß auf die grüngefärbten (Chlorophyll-) Körperchen des Blattes äußern kann. Sind alle übrigen Faktoren, welche diese Bildung beeinflussen, vorhanden, so ist die durch Assimilation erfolgte Neubildung der organischen Körper proportional der Dauer und Intensität der Belichtung. Doch auch in Bezug auf die Letztere wird ein Minimum, Optimum und Maximum zu unterscheiden sein, wie dies die Versuche von Famintzin[cc]) andeuten.

Bei unseren Kulturpflanzen macht sich am auffälligsten eine verstärkte oder verminderte Lichtwirkung in der Qualität der Zuckerrüben und Kartoffeln bemerkbar. In Jahren, in welchen die Sonnenstrahlen durch dichtes Gewölk anhaltend den Pflanzen entzogen sind, sinkt der Stärkegehalt in den Kartoffeln auf ein Minimum; die Kartoffeln werden „seifig" und wenig genießbar. Ebenso ist der Zuckergehalt in der Zuckerrübe ein geringer, die Ausbeute in den Zuckerfabriken eine unbefriedigende.

Leider ist es zur Zeit noch unmöglich die Belichtungsintensität befriedigend zu messen. Die Messung wird besonders dadurch erschwert, daß die einzelnen Strahlen im Lichtbündel für die Assimilation der Pflanzen sehr ungleichwertig sind. Die verschiedenen Lichtstrahlen, welche das weiße Sonnenlicht zusammensetzen, bilden die s. g. Regenbogenfarben oder die Farben des Spektrums und erscheinen für sich unserm Auge in verschiedener Färbung. Die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen besitzen nun ganz verschiedene Bedeutungen und Fähigkeiten. Einzelne Strahlen des Lichtbündels vermögen z. B. Chlorsilber zu zersetzen (die s. g. „chemisch wirksamen" Strahlen), andere nicht; einige bewirken in unserm Auge das Gefühl der Helligkeit (namentlich die gelben Strahlen), andere sind ganz unsichtbar (Ultrarot

und Ultraviolett) u. s. w. Nach den Untersuchungen von Lommel[DD]) scheinen für den Assimilationsvorgang in den Pflanzen nur die roten Strahlen von Bedeutung, welche zwischen B und C der Frauenhofer'schen Linien sich befinden; jedenfalls haben die „chemischen" Strahlen des Lichtbündels (blau, indigo, violett) nur einen sehr geringen Einfluß auf die Assimilation.

Gegenwärtig besitzt man nur Methoden, durch welche man die „chemischen" Strahlen des Lichtbündels zu messen im Stande ist. Aber die Intensität der „chemischen" Strahlen entspricht nicht immer der Intensität der für die Pflanzen bedeutsamen Strahlen. Im Laufe eines Tages kann das relative Verhältnis beider Arten von Lichtstrahlen zu einander wesentlich wechseln; deshalb kann die Kenntnis der „chemischen" Lichtstrahlen für die Pflanzenkultur nur eine untergeordnete Bedeutung besitzen. (Außerdem sind selbst für die chemischen Lichtstrahlen für längere Zeiträume hindurch nur erst vereinzelte Bestimmungen angestellt worden).

Die größte Schwächung der Intensität des Sonnenlichtes wird der Bewölkung zugeschrieben werden müssen. Man kann sich wenigstens annähernd ein Urteil über die Dauer und Intensität der Besonnung bilden, wenn man die Aufzeichnungen zu Hülfe zieht, welche an den preußischen meteorologischen Stationen seit Kurzem über die Himmelsbedeckung gemacht werden. Die Bewölkungsfläche soll nach den neuen Instruktionen für die meteorologischen Stationen durch die Zahlen 0—10 ausgedrückt werden, so daß 0 ganz wolkenfreien, 10 ganz bedeckten Himmel bedeutet. Die Dicke der Wolkenschicht (also deren größeres oder geringeres Vermögen das Sonnenlicht der Erde zu entziehen) wird durch Beifügung der Exponenten 0 (= schwach), 1 (= mittel) und 2 (= stark) bezeichnet, so daß also z. B. 10^2 eine vollständige Bedeckung des Himmels mit dicken, grauen Wolken bedeutet. In entsprechender Weise wird auch der Nebel bezeichnet. — Diese Zahlen können recht gut ein annäherndes

Urteil über die Besonnung erlauben, namentlich unter Berücksichtigung der Dicke der Wolkenschichten.[32])

---

3. Regenfall (Niederschläge) und Luftfeuchtigkeit.

Es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß unter allen Witterungserscheinungen der Regenfall, — überhaupt die atmosphärischen Niederschläge — die größten Unregelmäßigkeiten zeigen. Daher ist auch die gleichmäßige Verteilung des Regens, aus welchem die Pflanzen ihren Bedarf an Wasser fast ausschließlich zu schöpfen angewiesen sind, von so hohem Einfluß auf die Erträge an Pflanzensubstanz.

Über die Regenverhältnisse Deutschlands hat uns van Bebber[yy]) ein anschauliches Bild geschaffen. Nach demselben ist die gesamte Menge des Regenfalls zunächst abhängig von der Nähe des Meeres, sodann von der Erhebung über der Meeresoberfläche. Ordnet man die Stationen, an welchen die Menge der Niederschläge gemessen wurde, nach ihrer Erhebung über dem Meere und berechnet deren jährlichen Regenfall, so erhält man folgende Durchschnittswerte:

Höhe über dem Meere m	Anzahl der Stationen	Mittlere Regenmenge mm
0— 100	70	679
100— 200	36	583
200— 300	30	650
300— 400	19	696
400— 500	13	782
500— 600	6	788
600— 700	4	915
700— 800	8	981
800—1000	4	1001
1000—2000	2	1308

Es sei hierzu bemerkt, daß die Stationen mit einer Seehöhe von 0—100 m hauptsächlich Küstenstationen sind.

Einen wesentlichen Einfluß auf den Regenfall besitzen ferner die Gebirgszüge und die Richtung derselben; die wassergasführenden Luftschichten werden, an die Gebirge anlaufend, genötigt in die Höhe zu steigen; sie gelangen hierbei in kältere Luftschichten, wodurch eine Ausscheidung des gasförmigen Wassers in tropfbar flüssiger Form bedingt wird. Es bildet sich dann Regen. Nachdem der Gebirgskamm überschritten, senkt sich die Luft in die Tiefe, die wärmer ist; hierbei erwärmt sich auch die Luft, sie wird trocken und vermögend, neue Mengen Wassergas aufzunehmen.

Die aus Süd bis West kommenden und über Deutschland strömenden Winde sind am meisten mit Feuchtigkeit beladen, weniger die andern. Daher kommt es, daß besonders solche Gebirge zur Regenbildung Veranlassung geben, die in der Richtung von Südost nach Nordwest verlaufen. Die Orte an der Südwest-Seite werden daher die größte Regenmenge zeigen und die Menge wird zunehmen mit der Höhe im Gebirge. Die Nordost-Seite dagegen wird nur geringen Regenfall haben, weil sich die kalte Luft herabsenkt, sich erwärmt und dadurch befähigt wird, neue Wassermengen aufzunehmen. Solche Erscheinungen lassen sich nach van Bebber z. B. im Harzgebirge beobachten. Der durchschnittliche Regenfall daselbst beträgt

an der Südwest-Seite : Ballenstedt = 953 mm
„ „ Nordost-Seite : Wernigerode = 724 „

Ebenso auch im Teutoburger-Walde. Die Regenmenge beträgt hier

an der Südw.-S. (Münster, Gütersloh, Paderborn) = 694 mm
„ „ Nordost-Seite (Salzuflen, Hannover) = 583 „

Die Zone eines geringen Regenfalls an der Nordost-Seite markirt sich nach van Bebber noch in einer ziemlichen Entfernung vom Gebirge. So würden z. B. die nördlich der Alpen gelegenen Gegenden eine weit bedeutendere Regenmenge zeigen, wenn die Alpen nicht die namentlich vom mittelländischen Meere herkommenden, mit Feuchtigkeit be-

ladenen Winde durch die eben beschriebenen Vorgänge ihrer Feuchtigkeit beraubten.

Was die gesamte Niederschlagsmenge betrifft, so ist dieselbe nach den van Bebber'schen Zusammenstellungen im Durchschnitt folgende:

Deutsche Nordseeküste	702	mm im Jahre
westliche Ostseeküste (Schleswig-Holstein)	620	" " "
mittlere " (Mecklenburg, Pommern)	538	" " "
östliche " (West- und Ostpreußen)	554	" " "
Hannover (Binnenland), Brandenburg .	605	" " "
Posen " " .	515	" " "
Schlesische Ebene	576	" " "
Niederrhein	692	" " "
Westfalen	765	" " "
Norddeutsche Tiefebene	613	mm im Jahre
Rheinisches Schiefergebirge und Hessen .	636	mm
Prov. Sachsen und Thüringen . . .	605	"
Harz	925	"
Königreich Sachsen	634	"
Schlesisches Gebirge	714	"
Mitteldeutsches Bergland	692	mm
Rheinprovinz und Lothringen	636	mm
Elsaß, Vogesen	1360	"
Rheinebene	668	"
Baden	918	"
Württemberg	718	"
nördliches Bayern	736	"
südliches Bayern	939	"
Süddeutsches Bergland	825	mm
Deutschland	709	mm

Außer der während eines Jahres gefallenen Gesamt-Menge der Niederschläge interessieren den Landwirt noch die Regenverteilung und die Anzahl der Tage mit Niederschlägen. Für Deutschland ergiebt sich nach van Bebber im Durchschnitt:

	Niederschlagsmenge in Prozenten vom jährlichen Niederschlag		Von 100 Tagen sind Regentage	
Dezember . . .	7,8 %		43,6	
Januar	6,6 „		43,9	
Februar	6,0 „		43,4	
Winter		20,4 %		43,5
März	6,6 %		46,2	
April	7,1 „		43,3	
Mai	8,6 „		42,4	
Frühjahr		22,4 „		43,9
Juni	10,8 %		46,6	
Juli	11,1 „		44,7	
August	10,8 „		42,6	
Sommer		32,6 „		44,8
September . . .	8,3 %		37,7	
Oktober	8,1 „		38,2	
November . . .	8,2 „		44,2	
Herbst		24,6 „		41,7
Im Jahre		100 %		43,3.

Die Regenverteilung ist aber eine verschiedene je nach den Distrikten. An der Küste der Nordsee ist die Niederschlagsmenge im September am größten, im März am geringsten; dagegen fällt im übrigen Deutschland der meiste Regen während der Sommermonate. Nach Hellmann[EE]) findet für Norddeutschland ein doppeltes Maximum des Regenfalls statt (Anfang der zweiten Junihälfte und Mitte August). Die Monate Januar bis April zeigen die geringste Niederschlagsmenge; zweifellos hat hierauf der Umstand, daß zu dieser Zeit Pflanzen fehlen, welche durch stärkere Transpiration die Luft mit Wasser sättigen, einen wesentlichen Einfluß. (S. Seite 109.)

Die Anzahl der Regentage ist in den einzelnen Gegenden Deutschlands nicht wesentlich verschieden. Die wenigsten Regentage zeigt nach van Bebber die schlesische Ebene (37 von hundert = 136 Tage im Jahre); die meisten Regentage sind

im Harz (49 % = 179 Tage im Jahre). Die Anzahl der Regentage besitzt für die Praxis eine hohe Bedeutung, denn viele Arbeiten werden dadurch beeinflußt. Aus der Anzahl der Regentage kann jedoch nicht auf die Menge von Wasser geschlossen werden, welche dem Boden durch Regen u. s. w. zugeführt wird; einzelne Regentage bringen nur wenig Wasser, andere können in wenigen Stunden so viel Wasser liefern, als dem Regenfall im ganzen Monat entspricht. —

In ähnlicher Weise wie der Regen wirkt auf die Pflanze auch die Luftfeuchtigkeit. Wie bereits früher (Seite 105) betont wurde, ist die Transpiration der Pflanze durch die nämlichen Umstände bedingt, welche die Verdunstung einer freien Wasserfläche veranlassen. Eine sehr feuchte Atmosphäre wird daher die Verdunstung der Pflanze herabdrücken. Bei dem Seite 11 ff. angeführten Versuche verdunstete während der Vegetationszeit eine Haferpflanze

in sehr trockner Luft . . . . 1852,2 g,
in sehr feuchter „ . . . . 218,3 „.

Bei sehr feuchter Luft wird daher die Bodenfeuchtigkeit längere Zeit erhalten bleiben, da die Pflanzen weniger transpirieren und daher weniger Wasser dem Boden entziehen; eine trockne Luft wird im Gegensatz hierzu die Verdunstung steigern und größere Anforderungen an den Boden als Wasser lieferndes Reservoir stellen.

Leider ist diese Thatsache mehr ein Nachteil für die Pflanzenkultur als ein Vorteil, weil bei Regenmangel (Trockenheit des Bodens) meist auch die Luft eine sehr trockne ist; ist die Luft aber sehr feucht, so ist in der Regel auch kein Regenmangel vorhanden.

Als Beispiel der relativen Feuchtigkeit der Luft während eines Jahres mögen die durchschnittlichen Beobachtungsergebnisse von 1879 für Rostock folgen:

Die relative Feuchtigkeit betrug

	Morgens	Mittags	Abends	Mittel
	%	%	%	%
Januar . .	94	91	94	93
Februar . .	97	93	95	95
März . . .	88	82	90	87

	Morgens	Mittags	Abends	Mittel
	%	%	%	%
April . . .	77	58	84	73
Mai . . .	62	49	79	63
Juni . . .	71	59	88	73
Juli . . .	80	64	87	77
August . .	82	66	89	79
September .	81	62	87	77
Oktober . .	88	75	86	83
November .	84	80	85	83
Dezember .	92	94	91	89
Durchschnittl. i. Jahre	83	72	88	91

Die relative Feuchtigkeit steht in gewisser Abhängigkeit von der Temperatur und zwar im umgekehrten Verhältnis. Die relative Feuchtigkeit ist über Mittag geringer als des Morgens und Abends, im Winter höher als in den Sommermonaten. Je höher die Temperatur, desto geringer ist im Allgemeinen die relative Feuchtigkeit der Luft, desto mehr wird also die Luft noch Wassergas aufzunehmen im Stande sein.

Den Unterschied der Luftfeuchtigkeit zwischen Küste und Binnenland ergeben die Beobachtungen von Lübeck und Berlin. Die durchschnittliche Feuchtigkeit betrug im Jahre 1880

	in Lübeck	in Berlin
Januar	94 %	85 %
Februar	93 „	80 „
März	86 „	66 „
April	82 „	68 „
Mai	77 „	62 „
Juni	85 „	66 „
Juli	86 „	64 „
August	79 „	67 „
September . . .	84 „	68 „
Oktober	90 „	78 „
November . . .	93 „	78 „
Dezember . . .	93 „	84 „
Durchschnittl. im Jahre . . .	87 „	72 „

Der Unterschied der Luftfeuchtigkeit, welcher durch die Höhenlage bedingt wird, geht aus den korrespondierenden Beobachtungen der Stationen Schneekoppe und Eichberg hervor. Im Jahre 1880 wurde die relative Feuchtigkeit gefunden:

	Schneekoppe 1599 m	Eichberg 348 m Meereshöhe
Juli	84	76
August	91	81
September . . .	92	82
Oktober	97	81
November . . .	?	81
Dezember	85	85

In landwirtschaftlicher Beziehung ist es von Interesse, daß die Luftfeuchtigkeit direkt auf die Produktion der Kulturpflanzen einwirkt. In trockner Luft bildet sich wenig Stroh, dagegen relativ viel Korn; eine feuchte Luft begünstigt üppigen Krautwuchs, aber geringe Kornbildung. Jeder Landwirt hat dies in trocknen und nassen Jahrgängen beobachtet. Was unter normalen Verhältnissen durch trockne oder nasse Witterung herbeigeführt wird, das findet sich allgemein, wo die betreffenden Feuchtigkeitsverhältnisse als dauernd angesehen werden müssen. In der Nähe der Meeresküste, im Gebirge, in der Nähe ausgedehnter Waldungen u. s. w. hält sich die Luft nach obigen Beispielen feuchter als im Binnenlande, in sandigen Ebenen und unbewaldeten Flächen. Die Praxis muß sich die gegebenen Verhältnisse nutzbar machen. In den Gegenden mit feuchter Luft ist Futterbau, Wiesenkultur und darum die Viehwirtschaft naturgemäß der Hauptzweig der Landwirtschaft. (Holland, die Westküsten von Schleswig-Holstein u. s. w.) In trocknen Gegenden wird dagegen der Kornbau (ebenso Kartoffel- und Zuckerrübenbau) vorzuziehen sein (die Mark Brandenburg).

Im Eingange dieses Kapitels haben wir gesehen, daß die meteorologischen Beobachtungen unserer heutigen Stationen, sowie die Zusammenstellungen dieser Beobachtungen seitens der Central-Stationen den Anforderungen nicht genügen, welche die Landwirtschaft an sie zu stellen genötigt ist.

Es erübrigt uns noch an dieser Stelle eine Zusammenstellung zu geben von denjenigen Witterungsaufzeichnungen, welche in pflanzenphysiologischer Beziehung resp. in Bezug auf landwirtschaftliche Pflanzenproduktion ein wesentliches Interesse besitzen.

A. In Bezug auf **Temperatur**.

Durchschnittliche Luft-Temperaturen für einen Monat (besser für 10tägige Zeiträume) und zwar:

1. Morgens (6 resp. 8 Uhr)
   a. im Schatten,
   b. im direkten Sonnenlicht.
2. Nachmittags 2 Uhr
   a. im Schatten,
   b. im direkten Sonnenlicht.
3. Abends 10 Uhr.

Anmerkung: Die Beobachtungen dürfen nicht zu mittleren Tages-Temperaturen berechnet, sondern müssen gesondert aufgezeichnet werden, damit man in Anlehnung an die Thermometrographen (sub 7 und 8) einen Anhalt für die Tages- und Nacht-Temperatur gewinnen kann. S. Seite 152—156.

Durchschnittliche Temperaturen des nassen Thermometers für einen Monat (resp. für eine Dekade):

4. Morgens (6 resp. 8 Uhr)
   a. im Schatten,
   b. im direkten Sonnenlicht.
5. Nachmittags 2 Uhr
   a. im Schatten,
   b. im direkten Sonnenlicht.
6. Abends 10 Uhr.

Die Temperatur-Extreme, ebenfalls für einen Monat (resp. für eine Dekade) berechnet.

7. die höchste Temperatur während der Tageszeit (Maximum-Thermometer):

a. im Schatten,

b. im direkten Sonnenlicht.

8. die geringste Temperatur während der Nacht

a. am trocknen,

b. am nassen Minimum-Thermometer.

Sodann auf ein Jahr bezogen:

9. der Eintritt des letzten Frostes im Frühjahr

a. nach dem trocknen Minimum-Thermometer,

b. „ „ nassen „ „

10. der Eintritt des ersten Frostes im Herbst

a. nach dem trocknen Minimum-Thermometer,

b. „ „ nassen „ „

Ferner sind (wie dies gegenwärtig bereits an dem Königlich preußischen meteorologischen Institut geschieht) zu berechnen:

11. die Zahl der Tage, an welchen das Maximum-Thermometer unter 0° bleibt (Eistage),

12. die Zahl der Tage, an welchen das Minimum-Thermometer unter 0° sinkt (Frosttage),

13. die Zahl der Tage, an welchen die Temperatur (Maximum-Thermometer) 25° C. übersteigt (Sommertage),

14. die Zahl der frostfreien Vegetationstage (gerechnet vom letzten Frost im Frühjahr bis zum ersten Frost im Herbst) unter Zugrundelegung

a. des trocknen Minimum-Thermometers,

b. „ nassen „ „

B. In Bezug auf **Belichtung.**

Anmerkung: Die Bestimmung der chemischen Lichtintensität ist wünschenswert, wenn wohl auch zur Zeit noch nicht zu erreichen.

Zweckmäßig dürfte sowohl bei unbedecktem Himmel die Intensität der Himmelsbläue als bei ganz bedecktem Himmel die Farbe der Wolken (weißblau — dunkelgrau) nach einer Farbenskala anzugeben sein.

15. die mittlere Bewölkung des Himmels,

16. die mittlere Dichte der Bewölkung,

17. die Zahl derjenigen Tage, deren Bewölkung 2 und weniger beträgt (heitere Tage),

18. die Zahl derjenigen Tage, deren Bewölkung über 8 beträgt (trübe Tage).

Von einigen Beobachtern an meteorologischen Stationen werden die Besonnungsstunden (Stunden mit hellem Sonnenschein) verzeichnet. Dies ist als ein großer Fortschritt zu bezeichnen. Für solche Beobachtungen würden sich leicht Taschen-Uhren konstruieren lassen, welche — ähnlich wie die Sekunden-Uhren — durch einen Druck in Gang gesetzt, durch einen Gegendruck zum Stillstand gebracht werden können. Indem solche Uhren von Sonnenaufgang bis zum Sonnenuntergang in Bewegung gesetzt, während der Verdunkelung durch Wolken aber außer Thätigkeit gesetzt werden, kann man am Abend die Zahl der Stunden mit Sonnenschein von der Uhr ablesen.

C. In Bezug auf atmosphärische **Niederschläge** und **Luftfeuchtigkeit.**

19. die Niederschlagsmenge in Summa, während der einzelnen Monate und im Jahr (in mm-Höhe ausgedrückt),

20. die Anzahl der Regentage (Tage mit Niederschlägen) in den einzelnen Monaten und im Jahre,

21. die relative Feuchtigkeit in Dekaden, in den einzelnen Monaten und im Jahre,

22. die Anzahl der Tage mit Schloßenfall.

IV. Abteilung.

Allgemeine Verhältnisse in ihren Beziehungen zur landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion.

Wir fassen in diesem Kapitel alle diejenigen Verhältnisse zusammen, welche die Produktionskosten beinflussen, die Verwertung der Pflanzenprodukte bedingen und im Allgemeinen den Pflanzenbau ermöglichen.

Es liegt nicht in dem Plane dieser Schrift, die erwähnten Verhältnisse in eingehender Weise zu erörtern; in dem Nachstehenden soll nur auf dieselben hingewiesen werden, soweit sie zur Beurteilung des Bodens für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion von Bedeutung sind.

a. Auf die Produktionskosten haben Einfluß:

Der Preis des Bodens resp. das für den Boden angelegte Kapital oder der Pachtpreis.

Die Preise der für den betreffenden Boden erforderlichen Ackergeräte.

Die leichte oder schwierigere Beschaffung des nötigen Düngers und Hülfsdüngers, incl. das Vorhandensein von Mergellagern u. s. w.

Der Saatbedarf (= Fruchtbarkeit der Felder).

Preis der Arbeitstiere.

Höhe der Löhne für Dienst- und Arbeitsleute und Handwerker.

Die Bearbeitung, welche der Boden erfordert (Schwierigkeit der Bearbeitung, wie oft die Bodenart für einzelne Früchte gepflügt, gehakt, geeggt u. s. w. werden muß, ehe sie besäet werden kann).

Die Entfernung des Ackers vom Wirtschaftshofe.
Steuern und Abgaben.

b. Auf die Verwertung der Pflanzenprodukte sind von Einfluß:

Das Vorhandensein von Kommunikationsmitteln (Chausseen, Wege, schiffbare Flüsse, Ströme, Seen, Eisenbahnen).

Die Nähe gewerblicher Etablissements zur Verwertung und Abnahme der pflanzlichen Produkte. (Bäckereien, größere Mühlenbetriebe, Stärke- und Stärkezuckerfabriken, Branntweinbrennereien, Brauereien, Rübenzuckerfabriken, Ölmühlen.)

Die Entfernung vom Absatzgebiet (Markt).

Die Bevölkerungsdichte der nächsten Gegend.

Die Konkurrenz mit andern Produzenten.

Die Ermittelung der Preise geschieht durch Berechnung der Durchschnittspreise der verflossenen 25—30 Jahre, unter Abzug der event. Transportkosten nach dem Marktplatze.

Die Verwertbarkeit der Futterpflanzen richtet sich ferner nach der Rentabilität der Viehzucht, worauf hier nicht weiter eingegangen werden kann.

c. Der praktische Betrieb des landwirtschaftlichen Pflanzenbaues wird endlich beeinflußt

von der Nähe gewerblicher Etablissements, welche einen schädigenden Einfluß auf die Pflanzen ausüben (chemische Fabriken, bei welchen schädliche Gase [schweflige Säure, Chlor] in die Luft treten, Röstöfen für Erze);

von der Unsicherheit vor Überschwemmungen (die Nähe von Flüssen, die in ihrem Wasserstande größere Niveau-Änderungen zeigen, die Nähe größerer Seen; die Nähe des Meeres); sowie event. nachteiligen Übersandungen u. s. w.;

von Wildschaden;

von häufigem Hagelfall;

von der Rechtssicherheit.

Schlußbemerkungen.

Wie der Landwirt sich Situations-(Flur-)Karten anfertigt, um über die Lage der einzelnen Feldstücke seines Gutes eine leichte Übersicht zu gewinnen, so sollte er — und dies scheint viel dringlicher als jenes — sich einen Überblick zu verschaffen suchen über die Eigenschaften seiner verschiedenen Ackerstücke, wie sie sich in Beziehung auf den Pflanzenbau stellen.

Ein solches Bedürfnis ist schon vielseitig unter den Landwirten aufgetreten, und man hat — in ähnlicher Weise, wie der Geolog Karten anfertigt, welche einen Überblick über die geologische Beschaffenheit der Erdbildungen gewähren —, Bodenkarten angefertigt, welche dem Landwirt ein Bild über die Beschaffenheit des Ackerbodens bieten sollten. In großem Maßstabe haben in den letzten Jahren solche kartographische Aufnahmen durch die Königlich preußische geologische Landesanstalt in Berlin stattgefunden.

Diese Bodenkarten sind seitens der Landwirtschaft gewiß mit Dank anzunehmen, denn in vielen Fällen werden sie für Beurteilung der Bodenverhältnisse einen Anhalt gewähren können. Jedoch das, was der Landwirt bedarf, bieten diese Karten nicht, und zwar deshalb, weil sie in ganz einseitiger Weise einzelne (geologische) Bodenverhältnisse zur Anschauung bringen, die in zahlreichen Fällen für die landwirtschaftliche Wertschätzung des Bodens ganz ohne Bedeutung sind.

Eine Bodenkarte, die den Anforderungen, welche die Landwirtschaft an sie stellt, entspricht, muß alle die Verhältnisse berücksichtigen, welche wir als die Faktoren der Pflanzenproduktion kennen gelernt haben. Es ist eine Aufgabe der

nächsten Zeit, eine Form zu finden, in welcher diese Faktoren in übersichtlicher Weise den herrschenden Bodenverhältnissen entsprechend kartographisch aufgenommen werden können.

Der Landwirt wird sich gegenwärtig am leichtesten einen Überblick über diejenigen Verhältnisse, welche den Pflanzenbau beeinflussen, verschaffen, wenn er sich Tabellen anlegt, in welchen die betreffenden Verhältnisse alle ihrer Bedeutung nach zum Ausdruck gelangen.

Den größten Nutzen werden solche Tabellen dann bieten, wenn sie vergleichsweise einerseits die günstigsten Werte für die einzelnen Faktoren, andererseits die Werte, welche für die betreffenden Bodenarten gefunden wurden, zum Ausdruck bringen.

Ein besonderer Fall möge als Beispiel hier angeführt werden:

I. Chemische Verhältnisse des Bodens.

	Schlag I.	Schlag II.
a. Der relative Gehalt an assimilierbaren Pflanzennährstoffen.	Der Gehalt in der Trockensubstanz der Haferwurzeln betrug im Jahre 1879:	
Haferwurzeln enthalten: im Minimum (sehr armer, hungriger Boden): 0,5—0,6 % Stickstoff, 0,08—0,1 „ Kali, 0,08—0,1 „ Phosphorsäure.	0,57 % Stickstoff, 1,13 „ Kali, 0,29 „ Phosphorsäure.	1,0 % Stickstoff, 0,44 „ Kali, 0,22 „ Phosphorsäure.
In mäßig fruchtbaren Böden enthalten die Haferwurzeln: 0,8—1,0 % Stickstoff, 0,3—0,5 „ Kali, 0,2—0,5 „ Phosphorsäure.	Die reifen Pflanzen enthalten keine Salpetersäure.	Die reifen Pflanzen enthalten keine Salpetersäure.
In sehr fruchtbaren Böden enthalten die Haferwurzeln: 1,5 % u. mehr Stickstoff, 1,0 „ „ „ Kali, 0,8 „ „ „ Phosphorsäure.		
Salpetersäure enthalten die Pflanzen auf stickstoffarmen und mäßig stickstoffhaltigen Böden nicht. Salpetersäuregehalt von 0,01 % ist Beweis von Stickstoffreichtum im Boden.		

	Schlag I.	Schlag II.
b. Mächtigkeit der Ackerkrume.	25 cm.	25 cm.
c. Der absolute Gehalt des Bodens an wichtigen Mineralstoffen.	Der absolute Gehalt betrug im Jahre 1879 (in der Trockensubstanz der Ackerkrume):	
	0,018 % Stickstoff,	0,140 % Stickstoff,
	1,330 „ Kali,	2,040 „ Kali,
	0,440 „ Kalk,	0,969 „ Kalk,
	0,160 „ Magnesia,	0,280 „ Magnesia,
	0,008 „ Schwefelsäure,	0,022 „ Schwefelsäure,
	0,080 „ Phosphorsäure.	0,169 „ Phosphorsäure.
d. Bestandteile des Bodens, welche den Pflanzen schädlich sind. (Schwefeleisen, zu konzentrierte Salzlösungen u. s. w.)	fehlen.	fehlen.

II. Physikalische Verhältnisse des Bodens.

	Schlag I.	Schlag II.
a. Bodenfeuchtigkeit: Die meisten Kulturpflanzen bedürfen 300 bis 500 mm Wasser während ihrer Vegetationszeit. Die für die Pflanzen nutzbare Bodenfeuchtigkeit berechnet sich: $w = \frac{d - h \cdot 1{,}5}{100} \cdot k$ wobei bedeutet: w = Nutzungswasser in mm-Höhe. d = Wasser-Kapazität des in 1 *l* enthaltenen trockenen Bodens in g (Wasserdichte im Boden). h = hygroskopische Feuchtigkeit des Bodens pro *l* in g. k = Krumentiefe in cm.	$d = 163$ gr $h = 18{,}9$ gr $k = 25$ cm demnach: $w = \frac{163 - 18{,}9 \cdot 1{,}5}{100} \cdot 25$ $= 33{,}7$ mm	$d = 230$ gr $h = 26$ gr $k = 25$ cm demnach: $w = \frac{230 - 26{,}0 \cdot 1{,}5}{100} \cdot 25$ $= 47{,}8$ mm
b. Durchlüftungsfähigkeit: Der durchfeuchtete Boden soll der eindringenden Luft höchstens einen Widerstand von 70 mm Quecksilberdruck entgegensetzen.	Durchlüftungsdruck: = 0 mm Quecksilberdruck.	Durchlüftungsdruck: = 20—30 mm Quecksilberdruck.

	Schlag I. Leichter, sandiger Boden.	Schlag II. Schwachlehmiger Sand.
c. Zusammenhang des Bodens:		
d. Adhäsion an 1 □dem Eisenfläche: (Quarzsand = 0,17 kg magerer Thon = 0,35 „ fetter Thon = 0,48 „ strenger Thon = 0,78 „ reiner Thon = 1,22 kg)	Adhäsion des feuchten Bodens an 1 □dem blanker Eisenfläche = 0,17—0,19 kg.	Adhäsion des feuchten Bodens an 1 □dem blanker Eisenfläche = 0,20—0,25 kg.
e. Erwärmungsfähigkeit des Bodens. Neigung gegen die Himmelsgegend, Farbe. (Wassergehalt s. IIa.)	Horizontale bis schwach wellige Lage. Farbe: hellgelb bis grau-weiß.	Neigung schwach nach Süd-Ost. Farbe: lichtgelb.

III. Klimatische Verhältnisse.

a. Temperatur der Luft.

Schlag I.   Schlag II.

Nach 3jährigen Beobachtungen auf dem Gute selbst betrug die Temperatur im Durchschnitt (im Schatten!) in ° C:

	Morgens 8 Uhr	Nachmittags 2 Uhr	Abends 10 Uhr	Tagesmittel	Mittleres Min. (trockenes Thermometer.)	Mittleres Max.
Januar	—4,0	—1,6	—3,9	—3,4	—5,9	—0,4
Februar	—2,3	0,4	—1,0	—1,1	—3,8	1,5
März	0,5	3,9	0,0	1,1	—0,3	5,1
April	5,9	10,3	3,8	5,9	3,0	11,6
Mai	12,4	15,8	8,5	11,3	4,7	17,6
Juni	16,4	19,5	13,0	15,5	9,9	21,4
Juli	17,5	21,2	14,7	17,0	11,9	22,9
August	17,5	21,0	14,3	16,7	11,6	22,7
September	13,6	14,8	11,7	13,8	9,1	19,2
Oktober	6,7	9,5	6,3	7,2	3,6	11,2
November	3,0	5,3	3,5	3,8	1,3	5,7
Dezember	— 0,9	0,8	—0,6	—0,3	—2,6	1,8
			im Jahre	7,3	—	—

	Schlag I. — Schlag II.
	Nach 29jährigen Beobachtungen einer 2,5 km entfernten meteorologischen Station fällt nach dem trocknen Minimum-Thermometer im Durchschnitt der letzte Frost am 108. Tage (18. April), der erste Frost im Herbst am 306. Tage (2. November); die frostfreie Vegetationszeit beträgt demnach im Mittel 198 Tage. Frostfreie Zeit nach dem nassen Minimum-Thermometer: (Beobachtungen fehlen.)
b. Belichtung (Besonnung). Ganz wolkenfrei = 0 „ bewölkt = 10 Bewölkung leicht = 1 „ mittel = 2 „ dicht = 3. Heitere Tage: Bewölkung weniger als 2, trübe „ „ über 8.	Mittlere Dichte der Bewölkung: 2,13 } nach 2j. Durchschnitt Mittlere Bewölkung: 7,3 } Heitere Tage 45 pro Jahr } nach 3jähr. Beobachtungen auf dem Gute selbst. Trübe „ 141 „ „ }

c. Regenfall:

Die Pflanzen bedürfen 300—500 mm Regen während ihrer Vegetation.

Der Regenfall betrug im Durchschnitt von 3jährigen Beobachtungen:

Dezember	47,3	mm	in	15	Tagen,
Januar	71,1	„	„	20	„
Februar	51,6	„	„	16	„
Winter	170,0	mm	in	51	Tagen.
März	43,4	„	„	14	„
April	25,0	„	„	7	„
Mai	27,4	„	„	11	„
Frühling	95,8	mm	in	32	Tagen.
Juni	64,8	„	„	15	„
Juli	109,0	„	„	19	„
August	73,8	„	„	14	„
Sommer	247,6	mm	in	48	Tagen.
September	65,0	„	„	13	„
Oktober	87,8	„	„	22	„
November	49,3	„	„	17	„
Herbst	202,1	mm	in	52	Tagen.
im Jahre	715,5	mm	in	183	Tagen.

IV. Allgemeine Verhältnisse.

	Schlag I.	Schlag II.
a) Produktionspreise.	(Beschreibung der in Abteilung IV. aufgeführten Verhältnisse.)	
b) Verwertung der Pflanzenprodukte.		
c) Allgemeine Verhältnisse.		

Der Verfasser möchte die vorstehenden Angaben, welche die Güte des Bodens betreffen, nicht dazu benutzt wissen, daß sie pointiert werden, um eine Zahl zu gewinnen, wodurch die Bonität des Bodens ausgedrückt werden soll, daß man beispielsweise von Ackerboden I., II. Klasse u. s. w. spricht. Hierbei tritt sehr leicht eine Verdunklung der wirklichen Verhältnisse ein, dergestalt, daß man den einen Umstand wichtiger für den Pflanzenbau hält, als den andern. Die einzelnen Verhältnisse, welche als die Faktoren der Pflanzenproduktion bezeichnet wurden, lassen sich nicht in Zahlen skalenmäßig ausdrücken, denn ein Faktor ist so bedeutungsvoll wie der andere. Nur die Stärkung und Ergänzung des im Minimum vorhandenen Faktors wird unter verschiedenen Verhältnissen bald schwieriger, bald leichter sein.

Durch eine systematische Prüfung der Bodenarten in der obenstehenden Weise werden wir gleichzeitig auch größere Kenntnis über die Ansprüche, welche die Pflanzen an den Boden stellen, erwerben. Wir wissen z. B., daß die Pflanzen nicht auf allen Bodenarten mit Erfolg kultiviert werden können. Der Weizen gedeiht nicht auf Sandboden, selbst dann nicht, wenn man den Boden mit reichlicher Düngung versieht. Nach den Untersuchungen des Verfassers ist die Möglichkeit, auf einem Boden Weizen zu bauen, an die Fähigkeit des Bodens gebunden, eine gewisse Menge Wasser zurückzuhalten.

Eine Bodenkrume, deren Wasser-Kapazität nach der Feldprobe weniger als 54 mm beträgt, und dessen Wasser-Dichte (= Wassergehalt pro *l* Bodenraum) unter 270 zurückbleibt, ist kein „Weizenboden".

Die Schläge I. und II., welche in der vorhergehenden Tabelle beispielsweise angeführt wurden, können trotz starker Düngung keinen Weizen tragen, wohl aber bringen sie reichliche Erträge von Hafer und Roggen hervor, wenn man sie mit stickstoffhaltigen Substanzen düngt, und wenn der Regen in den Monaten April bis Juni in durchschnittlicher Regelmäßigkeit fällt.

Auf dem oben beschriebenen Wege weiterschreitend, werden wir ein richtiges Bild über die Bedürfnisse unserer einzelnen Kulturpflanzen nach allen Richtungen hin gewinnen[33]); wir werden eine wissenschaftliche Basis unter den Füßen haben, von welcher aus uns dann ein klarer Blick auf die Leistungsfähigkeit des Bodens einerseits und die Ansprüche der Pflanzen andererseits gewährt wird.

Literarische Nachweise.

a. (Seite 7.) P. Hässelbarth und J. Fittbogen: „Beobachtungen über lokale Schwankungen im Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft.“ — Landwirtschaftliche Jahrbücher, herausgegeben von H. v. Nathusius und H. Thiel. VIII. Bd. (1879) S. 669.

b. (Seite 7.) Franz Schulze: „Tägliche Beobachtungen über den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre zu Rostock vom 18. Oktober 1868 bis 31. Juli 1871.“ — Festschrift für die 44. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte. Auch in den „landwirtschaftl. Versuchs-Stationen“ XIV. Bd. (1871) Seite 327.

c. (Seite 8.) Moll: „Über den Ursprung des Kohlenstoffes in den Pflanzen.“ — Landwirtschaftliche Jahrbücher, herausgegeben von H. v. Nathusius und H. Thiel. VI. Bd. (1877) S. 327.

d. (Seite 9.) J. Reiset: „Recherches sur la proportion de l'acide carbonique dans l'air.“ — Compt. rend. T. LXXXVIII. (1879 I.) pag. 1007.

e. (Seite 20.) Boussingault: „Recherches sur la végétation.“ — Agronomie, Chimie agricole et Physiologie. Paris, 1860 pag. 1.

f. (Seite 29.) H. Hellriegel: „Wie viel Wasser beanspruchen unsere Getreidearten zur Produktion einer vollen Ernte.“ Amtliches Vereinsblatt für die Mark Brandenburg. 1871. S. 60.

g. (Seite 31.) R. Heinrich: „Über das Vermögen der Pflanzen, den Boden an Wasser zu erschöpfen.“ Landwirtschaftl. Annalen des mecklenb. patriotischen Vereins. 1876.

Nr. 45 und 46. — Vorläufige Mitteilung auf der 47. Versammlung der Naturforscher und Ärzte in Breslau. 1874.

h. (Seite 31.) Ad. Mayer: „Studien über Wasserverdichtung im Boden.“ Fühlings landwirtschaftliche Zeitung. 1875. S. 87.

i. (Seite 32.) E. E. Schmidt: „Encyklopädie der Naturwissenschaften in ihrer Anwendung auf die Landwirtschaft.“ — Braunschweig, 1850. Bd. II. S. 236.

k. (Seite 33 und 36.) P. Bretschneider: „Über den Regenfall zu Ida-Marienhütte in den Jahren 1865—1872 und den Gehalt des meteorischen Wassers an Stickstoff in Form von Ammoniak und Salpetersäure.“ — Breslau, 1872.

l. (Seite 35.) Graf A. zur Lippe: Siehe dessen landwirtschaftliche Kalender.

m. (Seite 36.) R. Heinrich: „Über die Ammoniakmengen, welche der Atmosphäre im Laufe des Jahres durch Salzsäure entzogen werden.“ — Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. IV. 5. Heft. — Landwirtschaftl. Annalen des mecklenburgischen patriotischen Vereins 1882. Nr. 2.

n. (Seite 40 und 43.) Nach Roth: „Die Gesteinsanalysen.“ Berlin 1861.

o. (Seite 41.) Nach A. Stöckhardt in den „landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen“. 1859. S. 176.

p. (Seite 41.) Nach E. Reichhardt in dem 1. Berichte der landwirtschaftlichen Versuchs-Station Jena. 1866.

q. (Seite 41.) E. von Wolff in den „landwirtschaftl. Versuchs-Stationen“. Bd. VII. (1865) S. 272.

r. (Seite 45.) Carl Sprengel: „Die Bodenkunde, oder die Lehre vom Boden, nebst einer vollständigen Anleitung zur chemischen Analyse der Ackererden.“ — Leipzig 1837.

s. (Seite 49.) F. Unger: „Über den Einfluß des Bodens auf die Verteilung der Gewächse, nachgewiesen in der Vegetation des nördlichen Tyrols." Wien 1836. S. 189.

t. (Seite 50.) Th. de Saussure: „Chemische Untersuchungen über die Vegetation." Übersetzt von Voigt. Leipzig 1805. S. 259. (Analysen Nr. 67 und 68 der Tabellen.)

u. (Seite 50.) J. F. John: „Über die Ernährung der Pflanzen im Allgemeinen und den Ursprung der Pottasche und anderer Salze in ihnen insbesondere." Berlin 1819.

v. (Seite 52.) A. Weinhold: „Über die Übereinstimmung der Zusammensetzung von Pflanzenaschen und derjenigen des Bodens." Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen, Bd. IV. S. 188. Bd. VI. S. 50.

w. (Seite 52.) Hellriegel in den Verhandlungen der V. Wanderversammlung deutscher Agrikulturchemiker. — Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen, Bd. XI. S. 136. — Siehe hierzu auch Jahresbericht für Agrikulturchemie für 1867, S. 117, wo ausführlichere Mitteilungen über diese Versuche zu finden sind.

x. (Seite 52.) A. Emmerling: „Untersuchungen über den Einfluß der Bodenbeschaffenheit auf die Zusammensetzung von Heu." Landwirtschaftliches Wochenblatt für Schleswig-Holstein 1875, Nr. 24 und 25.

y. (Seite 55.) Isidore Pierre: „Recherches expérimentales sur le développement du blé." — Paris 1866, pag. 85.

z. (Seite 65 und 67.) Ad. Beyer: „Bericht über die im Sommer 1867 an der Versuchs-Station Regenwalde ausgeführten Wasser-Kultur-Versuche." — Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen, Bd. XI. (1869) S. 262, resp. 282.

aa. (Seite 65 und 67.) J. Fittbogen: „Untersuchungen über die Aschenbestandteile der Haferwurzeln und ihr Verhältnis zu der oberirdischen Pflanze." — Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen, Bd. VI. (1864) S. 474.

bb. (Seite 67.) H. Weiske: „Über die Zusammensetzung und Menge der dem Acker nach der Ernte verbleibenden Stoppel- und Wurzelrückstände." — Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen, Bd. XIV. (1871) S. 105.

cc. (Seite 74.) E. von Wolff in dem Tageblatt der 49. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Hamburg. 1876. S. 170.

dd. (Seite 82.) F. Nobbe, J. Schröder und R. Erdmann: „Über die organische Leistung des Kalium in der Pflanze." — Landwirtschaftl. Versuchs-Stationen, Bd. XIII. (1870) S. 321.

ee. (Seite 82.) Josef Böhm: „Der vegetabilische Nährwert der Kalksalze." — Sitzungsbericht der k. k. Akademie der Wissenschaften (Wien). Bd. LXXI. 1. Abteilung, Aprilheft 1875.

ff. (Seite 83.) H. Wulfert: „Über die Bestimmung der Salpetersäure bei Gegenwart organischer Substanzen." — Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen, Bd. XII. (1869) S. 164. — An dieser Arbeit muß leider ausgesetzt werden, daß die untersuchte Pflanzensubstanz in viel zu unzureichender Menge benutzt wurde; bisweilen gelangten nur 0,25 g Trockensubstanz zur Untersuchung!

gg. (Seite 84.) Siehe Arendt: „Das Wachstum der Haferpflanze." — Leipzig 1859. S. 31 ff. — Nach der Methode von Arendt hat Verf. zahlreiche Schwefelsäurebestimmungen in Pflanzen ausgeführt, welche ihm die Grundlagen für die im Text gegebenen Aufstellungen bildeten.

hh. (Seite 93.) C. L. Treutler: „Einige Versuche über Löslichmachen des im Boden absorbierten Kalis." — Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen, Bd. XII. (1869) S. 184.

ii. (Seite 93.) In Leunis: „Synopsis der Mineralogie und Geologie." Bearbeitet von Senft. II. Abteilung: Geognosie 1860. S. 440.

kk. (Seite 97.) Völcker: „On same Causes of im-

productiveness of soils." — Journal Soc. r. d'Agr. d'Angleterre 1865.

ll. (Seite 97.) Nach einer Notiz in König's Bericht der landwirtschaftl. Versuchs-Station Münster. — Münster 1878. S. 74. — Siehe auch Reinders in Nobbe's landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen XIX. (1876) S. 190.

mm. (Seite 97.) J. König: „Bericht der landwirtschaftlichen Versuchs-Station Münster für 1871—1877." — Münster 1878. S. 75 ff.

nn. (Seite 98.) Adolf Mayer: „Beiträge zur Lehre von der Behandlung durch Seewasser verdorbener Ländereien." — Journal für Landwirtschaft 1879. S. 389.

oo. (Seite 98.) Eichhorn in dem „Chemischen Ackersmann" 1861. S. 28.

pp. (Seite 98.) Frank in den „Landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen" 1866. S. 45.

qq. (Seite 98.) Peters: Siehe Heiden's Düngerlehre. II. Bd. S. 492.

rr. (Seite 98.) Heiden, ebendaselbst. S. 493—499.

ss. (Seite 99.) Carl Sprengel: Bodenkunde (s. Anmerk. r.) S. 573.

tt. (Seite 101.) Siehe J. Conrad: „Liebig's Ansicht über die Bodenerschöpfung und ihre geschichtliche, statistische und national-ökonomische Begründung." — Jena 1864.

uu. (Seite 104.) Paul Sorauer in der „Botanischen Zeitung", herausgegeben von de Bary 1873. S. 145.

vv. (Seite 105.) Paul Sorauer: „Studien über Verdunstung." — Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. III. Bd. S. 351 resp. 421.

ww. (Seite 105.) Siehe Jahresbericht für Agrikultur-Chemie 1875 und 1876. Bd. I. S. 388.

xx. (Seite 106.) E. Wollny: „Untersuchungen über die Wasserverbrauchsmengen der landwirtschaftlichen Culturpflanzen in Rücksicht auf die agrar-meteorologischen Verhältnisse.“ — Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. IV. S. 85 resp. 98.

yy. (Seite 106 und 167.) J. van Bebber: „Die allgemeinen Niederschlagsverhältnisse mit besonderer Berücksichtigung Deutschlands.“ — Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. I. S. 341 resp. 362. — Vergl. auch van Bebber: Regentafeln für Deutschland, Kaiserslautern und die Regenverhältnisse Deutschlands. München.

zz. (Seite 107.) Kreußler, Prehn und Becker: „Beobachtungen über das Wachstum der Maispflanze.“ — Landwirtschaftliche Jahrbücher, herausgegeben von H. v. Nathusius und H. Thiel. Bd. VI. (1877) S. 759 resp. 784.

A. (Seite 108.) Siehe hierüber Paul Wagner: „Versuche über das Austrocknen des Bodens bei verschiedenen Dichtigkeitsverhältnissen der Ackerkrume.“ — Bericht über Arbeiten der landwirtschaftl. Versuchs- und Auskunfts-Station für das Großherzogtum Hessen zu Darmstadt. — Darmstadt 1874. S. 87. — Siehe auch J. Neßler, Bericht über Arbeiten der Großherzogl. Versuchs-Station zu Karlsruhe 1870.

B. (Seite 108.) Franz von Höhnel: „Über die Wasserverbrauchsmengen unserer Forstbäume mit Beziehung auf die forstlich-meteorologischen Verhältnisse.“ — In Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. II. S. 398 ff.

C. (Seite 109.) Th. Hartig: „Über Verdunstung.“ — Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 1878. Seite 3.

D. (Seite 109.) Th. Hartig in der Botanischen Zeitung 1861. S. 20.

E. (Seite 114.) Siehe Jahresbericht für Agrikultur-Chemie 1859—1860. S. 40.

F. (Seite 128.) A. Stöckhardt: „Über den Einfluß, welchen eine Zufuhr von Luft, Kohlensäure und Ammoniak

zu dem Boden auf das Pflanzenwachstum und die Aufschließung der Bodenbestandteile ausübt." — Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen Bd. I. (1859.) S. 21.

G. (Seite 130.) Schübler in den Zusätzen und Anmerkungen zu Chaptal's Agrikultur-Chemie, übersetzt durch Eisenbach. II. Bd. Stuttgart 1824. — Wir geben die im Text mitgeteilten Zahlen nach Wilh. Schumacher: „Die Physik des Bodens." S. 126 und 130.

H. (Seite 133.) Wilh. Schumacher: „Die Diffusion in ihren Beziehungen zur Pflanze." Leipzig und Heidelberg 1861. S. 64 ff.

I. (Seite 133.) Jul. Sachs: „Lehrbuch der Botanik", Leipzig 1874. S. 700.

K. (Seite 135.) Bialoblocki: „Über den Einfluß der Boden-Wärme auf die Entwickelung einiger Kulturpflanzen." — Inauguraldissertation.

L. (Seite 139.) Nach Jul. Sachs: Lehrbuch der Botanik, 4. Aufl. (1874.) S. 802 ff.

M. (Seite 140.) Ludw. Hensolt: „Das Temperatur-Minimum und -Maximum für die Ergrünung einiger Kulturpflanzen." Inauguraldissertation 1880.

N. (Seite 141.) Schübeler: „Die Kulturpflanzen Norwegens." — Christiania 1862. S. 90.

O. (Seite 147.) Nach Dove's „Temperaturtafeln" 1848.

P. (Seite 148.) Nach O. Hüttig in der deutschen landwirtschaftlichen Presse 1880. Nr. 4.

Q. (Seite 148.) Nach Friedr. Haberlandt: „Die Sojabohne." Wien 1878.

R. (Seite 149.) R. Heinrich: „Das Wärmebedürfnis der Zuckerrübe." — Landwirtschaftliche Annalen des mecklenburgischen patriotischen Vereins 1880. Nr. 49.

S. (Seite 149.) Friedr. Haberlandt: „Der allgemeine landwirtschaftliche Pflanzenbau.“ Wien 1879.

T. (Seite 150.) H. Briem: „Der Einfluß der Wärme auf die Zuckerrübe und die Kartoffel.“ — Organ des Centralvereins für Rübenzucker-Industrie in der österr.-ungar. Monarchie 1880. Seite 449. — Ferner in Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. III. S. 515.

U. (Seite 150.) Siehe Jahresbericht für Agrikultur-Chemie 1880. S. 251.

V. (Seite 154.) Adolf Mayer: „Die Abhängigkeit der Pflanzenatmung von der Temperatur.“ — Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen Bd. XIX. (1876). S. 340.

W. (Seite 158.) Schübeler: „Die Pflanzenwelt Norwegens.“ Christiania 1873. S. 87.

X. (Seite 158.) William H. Prescott: „History of the Conquest of Mexico.“ — London 1844. Vol. I. p. 122.

Y. (Seite 164.) Griesebach: „Vegetationscharakter von Hardanger.“ Archiv für Naturgeschichte X. S. 24 und 25.

Z. (Seite 164.) Martius: „Voyage botanique lelong les côtés de la Norwège“ 1846. p. 92.

AA. (Seite 164.) Baer in „Bullet. scientif. de l'Academie de St. Pétersbourg“ III. p. 133.

BB. (Seite 164.) Schübeler: „Die Pflanzenwelt Norwegens.“ S. 83.

CC. (Seite 165.) A. Famintzin in „Mélanges biologiques tirés du Bulletin de l'Academie impériale des sciences de St. Pétersbourg“ t. X. Mai—Juni 1880.

DD. (Seite 166.) Lommel: „Über das Verhalten des

Chlorophylls zum Licht", in Poggendorff's Annalen 143. Bd. S. 568.

EE. (Seite 170.) Hellmann in der Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie 1877. S. 1.

Erläuternde und kritische Anmerkungen.

1. (Seite 3.) „In der heißen Zone, sowie in den trocknen Sandgegenden unserer gemäßigten Zone ist der regelmäßige und entsprechend verteilte Regen der hauptsächlichst erkennbare Faktor für den Pflanzenwuchs.“ — In der Berberei ist die Feuchtigkeit des Ackers nur von dem Regenfall abhängig. „Wenn die letzten Regen in die Mitte des Aprils fallen, so wird die Ernte für sicher geschätzt.“ (Shaw's Reisen, deutsch, Leipzig 1765. S. 123.)

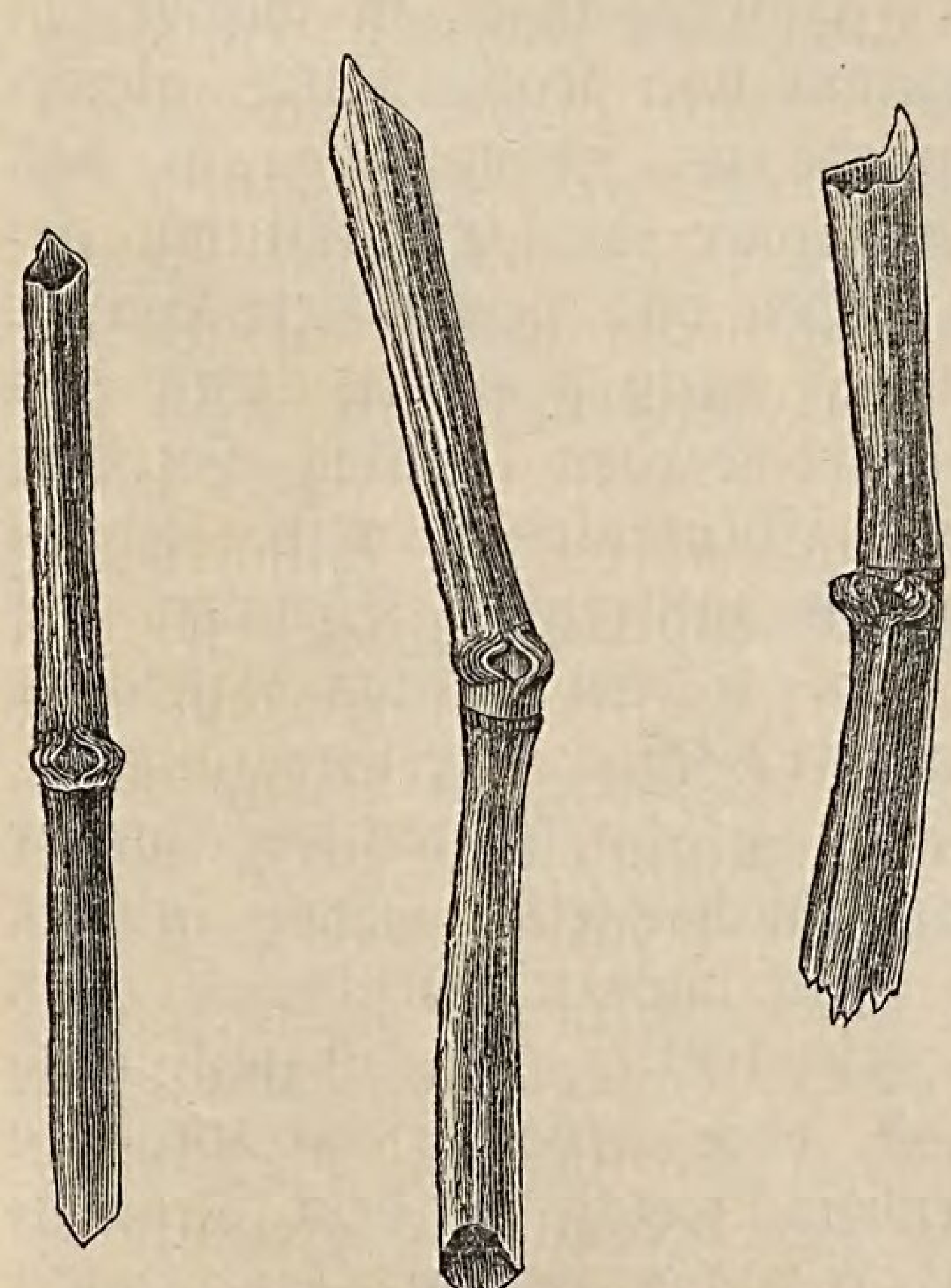
2. (Seite 6.) „Neben den Nährstoffen enthalten die Pflanzen auch noch andere Bestandteile, die nicht zu den Nährstoffen gehören, überhaupt für das Pflanzenleben scheinbar ohne Bedeutung sind.“ Nach E. von Wolff scheint jedoch die Kieselsäure, welche man bisher als gleichgültig für die Pflanzen ansehen mußte, eine Bedeutung für die Ökonomie der Pflanzennährstoffe zu besitzen. E. von Wolff fand bei Kulturversuchen, daß durch Zuführung von löslicher Kieselsäure an Phosphorsäure gespart werden konnte. Je weniger von Wolff in den betreffenden Versuchen den Pflanzen Phosphorsäure-Nahrung zur Verfügung stellte, desto geringer wurde der Kornertrag; gab nun von Wolff bei geringer Phosphorsäurenahrung gleichzeitig auch Kieselsäure, so steigerte sich die Kornbildung wieder; von Wolff erntete

ohne Kieselsäure	30	Körner,
mit wenig „	90	„
mit viel „	184	„

E. von Wolff erklärt diese Thatsache daraus, daß durch die Kieselsäure eine vollständigere Auswanderung der Phosphorsäure aus den Blättern veranlaßt würde, welche dann für die jüngsten Bildungen, die Körner, verfügbar würden. (Siehe

Tageblatt der 53. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Danzig 1880. S. 225.)

3. (Seite 7.) „Hafer, Gerste, Roggen und Weizen können wachsen und normale, straffe Halme zur Entwickelung bringen, ohne dazu auch nur eine Spur von Kieselsäure nötig zu haben." Untersucht man die einzelnen Organe der Halmgewächse, so findet man schon durch die chemische Analyse, daß sich die überwiegende Menge der Kieselsäure nicht in den Stengelgliedern, sondern in den Blättern (und Blattscheiden) abgelagert hat. Die Straffheit der Halme wird daher nicht durch die Kieselsäure bedingt; die auf Tafel I. abgebildete Haferpflanze Nr. 5 wurde ohne Kieselsäure erzogen, trotzdem war sie in ihrer Straffheit nicht verschieden von den gewöhnlichen Haferpflanzen des Feldes. — Die Straffheit ist ausschließlich Folge der Verholzung bestimmter Gewebsteile (Gefäße, Holzzellen) der Halme. Die Zellmembran, wie sie die Zellen in den jüngeren Stadien umgiebt, besteht aus einem elastischen, weichen Häutchen (Cellulose). Bei den oben genannten Zellgewebspartien wird diese von Holzsubstanz inkrustirt. Die Einlagerung von Holzsubstanz in die Membran ist aber von gewissen äußeren Verhältnissen abhängig. Sie wird begünstigt durch starke Belichtung, verzögert durch Beschattung, feuchte Luft. Untersucht man gelagertes Getreide, so findet man in der Regel die Knoten des unteren Teiles der Halme von nur geringer Härte, während sie sich bei gesunden Halmen grade durch eine besondere Härte auszeichnen. Die an den Knoten übergreifenden und unten am Knoten befestigten Blattscheiden, welche unter normalen Verhältnissen dem eingeschlossenen Halme Festigkeit mit verleihen, sind bei dem Lagergetreide ebenfalls schlaff, weich und meistens geplatzt, wie es die nebenstehenden Abbildungen zeigen. (Knoten von gelagerten Roggenhalmen.) — Es ergiebt sich hieraus, daß es zwecklos ist, wollte man der



Figur 1.

Kalamität des „Lagerns“, wie man dies früher vielfach glaubte, durch Düngung mit löslicher Kieselsäure entgegenarbeiten. Noch in jüngster Zeit wurde von der Poudrette-Fabrik Laubegast-Dresden „Kieselsäure-Kloake-Poudrette“ ausgeboten! (Siehe Jul. Schröder: „„Kieselsäure-Kloake-Poudrette“, ein neues Düngemittel“, in der Sächs. Landw. Zeitung.) Durch Düngung mit löslicher Kieselsäure würde man nach Obigem im Gegenteil das Lagern des Getreides noch verschlimmern, da die in den Blättern gleichsam als Ballast abgelagerte Kieselsäure größere Anforderungen an die Tragfähigkeit der Halme stellt. — Hülfsmittel gegen das Lagern werden bilden: dünne Saat, Reihensaat (Drillkultur), wodurch der Zutritt von Licht und Luft ermöglicht wird, ferner künstliche Unterdrückung der zu üppigen, die Stengel zu stark beschattenden Blätter durch Vermeidung von Stickstoffdüngungen und Anwendung der reinen Superphosphate; endlich Entwässerung des feuchten Bodens. —

4. (Seite 12.) „Mit einer rascheren Transpiration steht eine beschleunigtere Aufnahme der mineralischen Nährstoffe der Pflanze aus dem Boden im engsten Zusammenhange.“ Zu der Ausführung dieser Versuche dienten 2 Kästen aus eisernen Rähmen mit Glasscheiben; jeder Kasten war 1 m hoch und 33 × 33 cm breit. In jedem Glaskasten vegetierten 3 Haferpflanzen in wässerigen Lösungen. Ein reichliches Quantum von Kohlensäure, gleichmäßig für die beiden Kästen, wurde an jedem Tage in das Innere der Kästen geleitet. Es war die Einrichtung getroffen, daß ohne die Kästen zu heben das verdunstete Wasser jeden Tag genau dem Volumen nach gemessen und den Vegetationsgefäßen wieder zugeführt werden konnte. In dem einen Kasten (Trockenkasten) war Chlorcalcium resp. Phosphorsäure (in Syrupskonsistenz) in zahlreichen Schalen auf einem Gestell aufgestellt, in dem andern Kasten (feuchter Kasten) in gleicher Weise Schalen mit Wasser zur Verdunstung. Beide Kästen enthielten Klinkerfueß'sche Patenthygrometer zur Beobachtung der relativen Feuchtigkeit. Trotz obiger Vorkehrungsmaßregeln war es nicht möglich, weder in dem feuchten Kasten eine Atmosphäre mit 100 % Feuchtigkeit, noch in dem Trockenkasten annähernd eine trockene Atmosphäre herzustellen. Die größte Trockenheit, welche in dem Trockenkasten erzielt wurde, betrug 10 %, die größte Feuchtigkeit dagegen in dem feuchten Kasten 89 %. Es erklärt sich hier-

aus, daß die Pflanzen in dem feuchten Kasten stetig, wenn auch nur kleine Mengen, verdunsteten. Aus diesem Grunde war es von großem Interesse, daß die im feuchten Kasten durch die Pflanzen verdunstete Wassermenge gemessen werden konnte. — Ausführliche Mitteilung dieser Versuche an anderer Stelle wird noch vorbehalten.

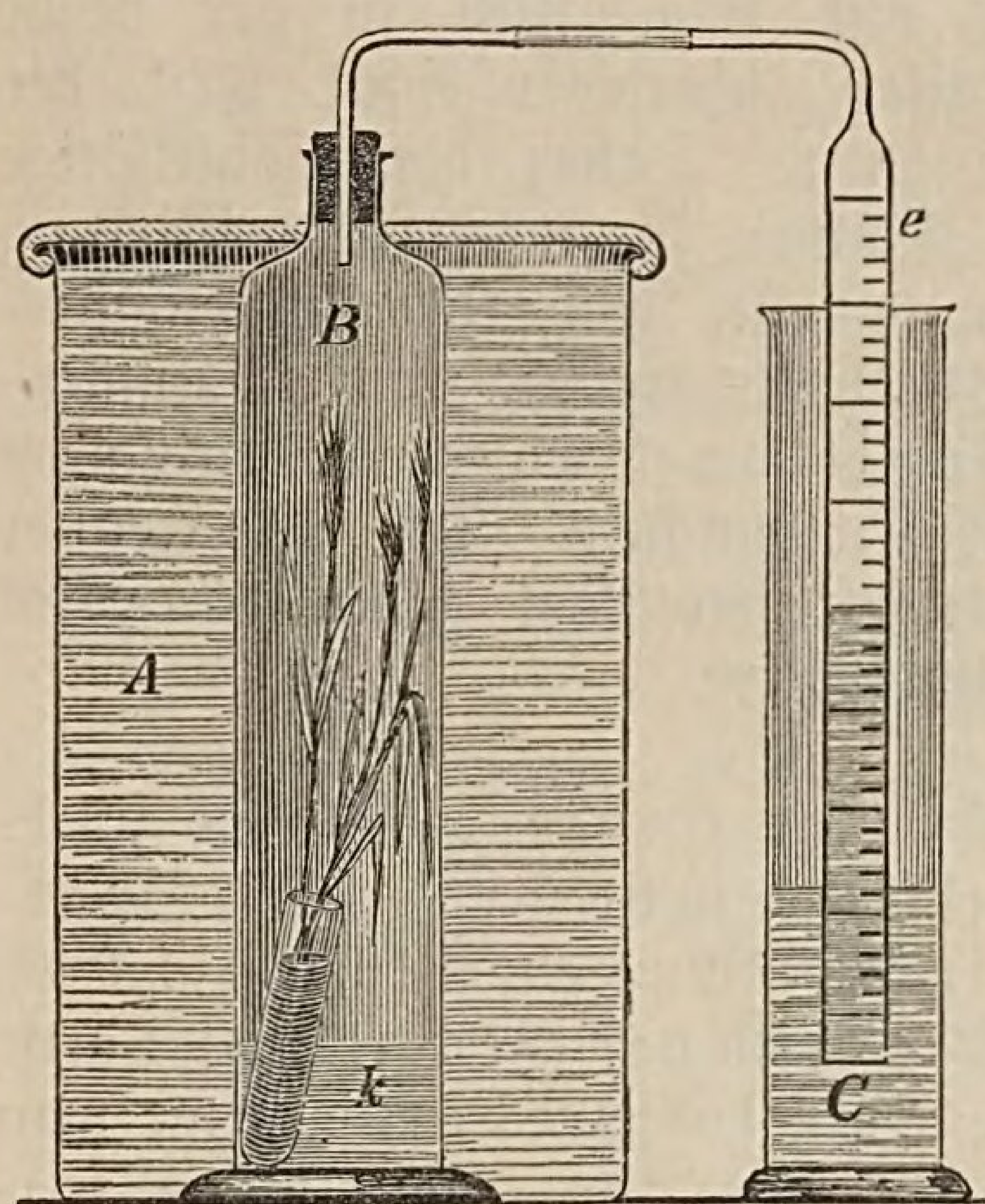
In neuerer Zeit wurden ähnliche Versuche von F. Reinitzer ausgeführt. (Siehe Sitzungsber. der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften, LXXXIII. Bd., I. Abteilung, Januarheft 1881.) F. Reinitzer beobachtete ebenfalls durch gesteigerte Verdunstung eine gesteigerte Nährstoffzufuhr, bemerkte jedoch hierdurch eine Schädigung des Wachstums und eine Verminderung der Turgeszenz. Der genannte Forscher hält deshalb eine lebhafte Transpiration der Pflanzen für nachteilig. — Dieser Folgerung in ihrer Allgemeinheit kann wohl kaum beigepflichtet werden, es kommt, wie dies Seite 103 im Text ausgeführt wurde, auf die obwaltenden Verhältnisse an, ob eine energische Verdunstung vorteilhaft, gleichgültig oder nachteilig ist. Ein vorteilhafter Einfluß der gesteigerten Transpiration wurde u. A. von Paul Sorauer beobachtet. (Siehe Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. III. Bd. S. 375.) Derselbe fand die Zunahme des Frischgewichts seiner Versuchspflanze entsprechend der Verdunstungsgröße. „Wenn man die Pflanzen nach ihrer absoluten Verdunstungsgröße derartig ordnet, daß diejenigen Exemplare, welche unter der mittleren Verdunstungsgröße jeder Reihe mit ihrer Verdunstung zurückgeblieben, den Exemplaren gegenüberstehen, die mehr als das Mittel verdunstet haben, so findet man, daß die Produktion dieser Pflanzen an neuer Frischsubstanz sich ähnlich gruppiert." (Sorauer a. a. O.)

5. (Seite 14.) Schließt man die Pflanzen vom Sauerstoff ab, so ersticken sie. Es sei bei dieser Gelegenheit darauf hingewiesen, daß sowohl in der landwirtschaftlichen Praxis, als auch in der landwirtschaftlichen Litteratur die Bezeichnung des Erstickens der Pflanzen in ganz anderer und falscher Weise gebraucht wird. Man sagt in der Praxis, daß Pflanzen, welche Beschattung nicht vertragen können, unter der Beschattung „ersticken". In der kleinen aber gedankenreichen und anregenden Schrift von W. v. Laer: „Die Ackergare" (5. Auflage 1882) sagt z. B. der Verf. bei Besprechung der Bedingungen, unter welchen die Quecken

zerstört werden (S. 41): „Alles was gute Ernten bringt, zerstört also die Quecken; die Quecken können unter starken Früchten nicht aufkommen, oder sie ersticken.“ Dies ist kein Ersticken, die Pflanzen sterben vielmehr hier durch Erschöpfung oder Verhungern. Sie können unter diesen Verhältnissen zwar alle Nahrungsmittel in genügender Menge zur Verfügung haben, aber indem sie zu sehr durch Beschattung verdunkelt werden, entbehren sie die nötige Intensität des Sonnenlichtes, durch welche sie erst befähigt werden, die unorganischen Nahrungsmittel in organisches, plastisches Material umzuwandeln. Der Assimilationsprozeß ist unter solchen Verhältnissen unterdrückt. (Siehe S. 164 ff.) Untersucht man zu stark beschattete Pflanzen mikroskopisch, so findet man, daß das Material, welches zum Aufbau der Organe dient (Stärke, Krümelzucker), nur noch in Spuren vorhanden ist. Dazu kommt außerdem, daß der Atmungsprozeß stetig in einer der Temperatur entsprechenden Weise fortdauert, wodurch ebenfalls ein starker Verbrauch des obigen plastischen Materials stattfindet. Die Pflanzen sterben unter zu starker Beschattung also nicht durch Erstickung, sondern durch Erschöpfung oder Verhungern.

6. (Seite 14.) „Ein sehr lebhafter Atmungsprozeß findet bei keimenden Samen statt.“ Bei der Keimung der ölreichen Samen (Raps, Rübsen, Senf, Kürbis u. s. w.) wird der aufgenommene Sauerstoff nicht lediglich zur Atmung verbraucht, sondern dient zur Bereitung von sauerstoffreicheren organischen Verbindungen aus den (sauerstoffarmen) fetten Ölen. Der freie atmosphärische Sauerstoff spielt also in diesem Falle die Rolle eines wirklichen Pflanzennährstoffes.

7. (Seite 16.) Versuche zur Feststellung der Atmungsgröße während der Vegetation der Haferpflanze. Die Versuche wurden in dem einfachen Apparat ausgeführt, welcher in der umstehenden Figur 2 abgebildet ist. In dem größeren Gefäß aus Zinkblech A wurde der die Haferpflanzen enthaltende Cylinder B eingebracht. Die Versuchspflanzen standen in einem kleinen Glasgefäß mit Wasser, damit sie sich während des Versuches (gewöhnlich 26 Stunden) frisch erhielten. Das Gefäß A war mit Wasser gefüllt, dessen Temperatur vom Anfange bis zum Ende des Versuches auf der nämlichen Höhe erhalten wurde. Auf dem Boden des Cylinders B befand sich konzentrierte Kalilauge (k). Der Cylinder B stand



Figur 2.

in offner Kommunikation mit der Eudiometer-Röhre e und diese tauchte in dem Cylinder C mit ihrem unteren offenen Ende in Wasser. Da die von den Pflanzen in dem Cylinder B ausgeschiedene Kohlensäure von der Kalilauge absorbiert wurde, so entsprach die Volumendifferenz derjenigen Menge Sauerstoff, welche von den Pflanzen zur Atmung verbraucht wurde. Die Volumendifferenz gelangte in der Eudiometer-Röhre e durch Aufsteigen des Wassers in der Röhre zum Ausdruck. Vor dem Ablesen des verbrauchten Sauerstoffs wurde der Wasserstand in dem Cylinder C auf die gleiche Höhe wie in der Röhre e gebracht. Das Volum der Luft im Apparat bei Beginn und am Ende des Versuches wurde auf 760 mm Quecksilberdruck reduziert. — Es darf nicht angenommen werden, daß die Luft in dem Cylinder B durch die Kalilauge stets absolut kohlensäurefrei erhalten wird; kleine Mengen Kohlensäure die eben noch nicht von der Kalilauge absorbiert wurden, werden sich immer vorfinden müssen. Es ist für die Genauigkeit dieser Versuche jedoch gleichgültig, ob vor und nach dem Versuche die Luft absolut kohlensäurefrei gemacht wird, wenn nur vor und nach dem Versuche die *nämliche* Menge von Kohlensäure in dem Cylinder B vorhanden ist. Dies wurde dadurch erreicht, daß man den Versuch erst 2 Stunden nachdem die Pflanzen in den fertig gestellten Apparat gebracht waren begann und die nötigen Ablesungen vornahm. Darauf verblieben die Pflanzen noch genau je 24 Stunden in dem Atmungsapparat.

8. (Seite 27.) *Die Zusammensetzung der Atmosphäre ändert sich nicht wesentlich, nur die Kohlensäure schwankt je nach lokalen Verhältnissen.* Der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre ist ein hoher: über kahlen nicht bewachsenen Feldern, in größeren Städten, in nicht genügend ventilierten bewohnten Zimmern, in Ställen, in der Bodenluft; dagegen ist er geringer als dem Durchschnitt entspricht: über

grünen Wiesen und Feldern und namentlich in der Nähe größerer Gewässer; das Wasser absorbiert einen Teil der Kohlensäure und reinigt die Luft. Daher der wohlthätige Einfluß kleiner Fontainen im Zimmer, die kräftigende Wirkung der Luft an den Meeresküsten. — In Folge der Kohlensäureabsorption ist das Meerwasser verhältnismäßig reich an Kohlensäure. Nach Laurent, Bouillon-Lagrange enthalten 1000 Teile Wasser 62,0 Teile Kohlensäure. Das Meerwasser enthält also auf gleiche Volumina berechnet gegen 150 Mal mehr Kohlensäure als die Atmosphäre.

9. (Seite 38.) Die dürftige Ernte auf dem stickstoffarmen Sandboden enthält dem verbrauchten Saatkorn gegenüber ein so geringes Plus an Stickstoff, daß nur die im Regenwasser während der Vegetationsmonate mit niedergefallenen Stickstoffverbindungen von den Pflanzen benutzt zu sein scheinen. Man könnte deshalb annehmen, der arme Sandboden habe ein so geringes Absorptionsvermögen für die Pflanzennährstoffe resp. für Ammoniak, daß die außerhalb der Vegetationszeit gefallenen Stickstoffverbindungen von dem Boden nicht reserviert hätten werden können. Demgegenüber ist jedoch zu bemerken, daß die Absorptionsfähigkeit des betreffenden Sandbodens durch den direkten Versuch ziemlich hoch gefunden wurde. Sie betrug = 14 der Knop'schen Skala (s. Knop „Bonitierung der Ackererde". 1872. S. 49). Da der Boden ein Liter-Gewicht von 1616 g und eine Krumenmächtigkeit von 25 cm besitzt, so würde er im Stande sein, pro ha 656 kg Ammoniak-Stickstoff zu binden. Diese Absorptionsfähigkeit würde genügen, um das 60fache der jährlichen Ammoniak-Niederschläge zu binden und für die Pflanze zurückzuhalten.

10. (Seite 61.) Die Pflanzen- (resp. Wurzel-)Analysen können sehr wohl dazu verwendet werden, um über den relativen Reichtum des Bodens an assimilierbaren Pflanzennährstoffen Aufschluß zu geben. — Gegen die von Hellriegel vorgeschlagene Methode „die Aschenanalysen der Ernteprodukte für Beurteilung der Menge und des gegenseitigen Verhältnisses der im Boden vorhandenen aufnehmbaren Pflanzennährstoffe" zu benutzen (s. „Verhandlungen der V. Wanderversammlung deutscher Agrikulturchemiker, Physiologen und Vorstände der Versuchs-Stationen" in den landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen Bd. XI. [1869] S. 136) wurden seiner Zeit mehrfache Bedenken erhoben. Aus den in

dem Text gegebenen Mitteilungen geht hervor, daß meine Methode, die assimilierbaren Pflanzennährstoffe im Boden zu bestimmen, mit der Hellriegel'schen Methode nicht übereinfällt. Da aber die Einwendungen, welche gegen die Hellriegel'sche Methode erhoben wurden, auch gegen die von mir vorgeschlagene Methode erhoben werden könnten, so sehe ich mich veranlaßt hier noch nachzuweisen, daß die bezüglichen Einwände zum Teil auf meine Methode keine Anwendung finden, zum Teil aber auch unberechtigt sind.

Zunächst sei darauf hingewiesen, daß Hellriegel die Analysen der Ernteprodukte dazu verwenden zu können glaubte, neben dem relativen auch den absoluten Gehalt der im Boden vorhandenen aufnehmbaren Pflanzennährstoffe zu bestimmen. Ich halte dies weder nach der Methode von Hellriegel für möglich, noch sollte dies durch meine Methode erzielt werden. Auf die Aufnahmefähigkeit der Nährstoffe aus dem Boden durch die Pflanzenwurzeln haben die verschiedenartigsten und wechselndsten Verhältnisse einen Einfluß. Zunächst werden in einem und demselben Boden die löslich und assimilierbar gewordenen Bestandteile von dem Wasserreichtum abhängen; der Boden ist aber in den verschiedenen Jahren während der Vegetationszeit ganz ungleichmäßig feucht, und werden deshalb bald größere, bald geringere Mengen Nährstoffe für die Pflanzen disponibel werden. Ferner richtet sich die Aufnahme der Nährstoffe resp. das Eindringen der Nährstoffe in die Wurzel nach dem relativen Mischungsverhältnis der Salze in der Bodenflüssigkeit. Aus den Untersuchungen von Wilh. Wolf (s. landwirtschaftliche Versuchs-Stationen Bd. VI. S. 203 und Bd. VII. S. 193) geht hervor, daß z. B. Gips die Diffusionsfähigkeit des Kali's erhöht, Chorcalcium dagegen sie vermindert. Je nach der relativen Mischung der Salze im Boden wird daher die Aufnahmefähigkeit derselben durch die Pflanzenwurzel eine verschiedene sein, bald kann die Aufnahme der Nährstoffe im Übermaß geschehen, bald ist sie nur auf das nöthigste Maß beschränkt. — Ferner geht aus den schon mehrfach angezogenen Versuchen S. 11 ff. hervor, daß der Aschenreichtum der Pflanzen im hohen Maße von der Verdunstung von Wasser durch die Pflanzen abhängt; je größer die Wassermengen sind, welche in die Pflanzen eintreten, sie durchströmen und wieder verdunsten, desto höher ist auch die gleichzeitig mit eingeführte im Wasser gelöste Mineralstoffmenge. Die

Pflanzen können sich auf diesem Wege reichlich mit Mineralstoffen beladen. Die Mineralstoffe können sich sogar in den krautigen, oberirdischen Pflanzenteilen in fester Form ausscheiden, sie können z. B. auf den Blättern feste Krusten bilden, aber die Organisation der Pflanzen ist derartig, daß die Mineralstoffe aus der Bodenflüssigkeit nur in die Zellen der Pflanzenwurzeln ein-dringen, nie aber umgekehrt aus der Wurzel zurück in den Boden wandern können. (Siehe z. B. die Versuche von W. Wolf in den landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen Bd. VII. S. 209.) — Ferner muß die relative Entwickelung des Wurzelsystems einen wesentlichen Einfluß auf die Menge der aufgenommenen Mineralstoffe ausüben. Nur diejenigen Nährstoffe im Boden können in die Pflanzenwurzeln eintreten, welche sich in unmittelbarer Berührung mit den aufnahmefähigen Wurzelzellen befinden. Je reichlicher ein Boden von den Pflanzenwurzeln durchzogen wird, desto mehr wird er an Nährstoffen erschöpft. Unsere Kulturpflanzen haben aber ein sehr ungleiches Wurzelentwickelungsvermögen. Folgert Hellriegel aus seinen Versuchen, daß $^2/_3$ der vorhandenen assimilierbaren Pflanzennährstoffe durch die Gerste aus dem Boden aufgenommen werden, so gilt dies — selbst bei gleichen sonstigen Verhältnissen — immer nur für die Gerste (der Versuchspflanze Hellriegel's); andere Kulturpflanzen, z. B. der Hafer, die Rübe, die Kartoffel, die Erbse werden ein ganz anderes Vermögen zeigen, dem Boden die Nährstoffe zu entziehen. — Endlich muß sich auch die absolute Menge der aufgenommenen Mineralstoffe nach dem Verbrauch derselben in der Pflanze richten. Es fordern dies einfach die Gesetze der Diffusion. Die eine Pflanze, die ein geringes Wachstum zeigt, wird deshalb absolut weniger Nährstoffe dem Boden entziehen, als die andere kräftig vegetierende Pflanze.

Es wird sich meistens unserer Beurteilung vollständig entziehen, ob dieser oder jener Einfluß bei der Aufnahme von Nährstoffen eine hervorragende Rolle gespielt hat, und lassen es daher alle diese Umstände unmöglich erscheinen, im Sinne Hellriegel's den gesamten Gehalt des Bodens an assimilierbaren Pflanzennährstoffen zu bestimmen.

Die Kenntnis des absoluten Gehaltes an aufnehmbaren Nährstoffen im Boden scheint mir aber für den praktischen Pflanzenbau auch nur von untergeordneter Bedeutung. Der Reichtum eines Bodens an Pflanzennährstoffen wird immer nur in dem einen Sinne einen Wert für die Pflanzenkultur

besitzen, als durch ihn das Nährstoffbedürfnis der Pflanzen und Pflanzenorgane gedeckt wird. Für die Pflanzenkultur interessiert nur die Frage, ob die Pflanzenorgane ihren Bedarf an Nährstoffen reichlich oder dürftig aus dem Boden zu decken vermögen. Die Analyse der Pflanze resp. der Wurzel giebt aber hierüber einen vollständig sicheren Anhalt. Wir müssen in dieser Beziehung allerdings erst auf rein empirischem Wege feststellen, welcher Gehalt in den Pflanzenorganen als „reich" oder als „arm" bezeichnet werden muß; aber auch dann, wenn wir den absoluten Gehalt des Bodens an aufnehmbaren Nährstoffen festzustellen im Stande wären, müßten wir uns erst aus empirischen Versuchen Klarheit verschaffen, ob ein Gehalt z. B. von 0,01 % assimilierbarer Phosphorsäure im Boden als ein hoher oder geringer anzusehen ist.

Für die praktische Pflanzenkultur genügt die Kenntnis des relativen Bodenreichtums an Nährstoffen vollständig. Vermag der Boden der Pflanze nur so viel Phosphorsäure zu liefern, daß die Haferwurzel einen Gehalt von 0,08 bis 0,10 % daran zeigt, so ist der Boden „arm" an assimilierbarer Phosphorsäure und der Landwirt ist genötigt, den Boden an assimilierbarer Phosphorsäure zu bereichern, gleichgiltig ob dann der Boden einen absoluten Gehalt von 0,001 oder 0,3 % davon besitzt.

Eine andere Frage ist es aber, ob die oben erwähnten Verhältnisse, welche die Aufnahme der absoluten Mengen von Nährstoffen beeinflussen, ihren Einfluß auch auf den relativen Gehalt an Nährstoffen in den Pflanzenorganen erstrecken.

Nach den bisher vorliegenden Erfahrungen scheint es zweifellos, daß der relative Nährstoffgehalt in den Pflanzenorganen je nach der Bodenfeuchtigkeit, nach der Transpirationsgröße, nach den die Diffusion fördernden oder deprimierenden Umständen (Gegenwart gewisser Salze im Boden) sich verschieden stellt. Daß hierdurch aber die vorgeschlagene Methode ihre Brauchbarkeit nicht verliert, geht aus nachstehenden Erörterungen mit großer Bestimmtheit hervor.

Ist der Gehalt der Pflanzen oder Pflanzenorgane an einem Nährstoff sehr hoch, so kann der Gehalt sich mindern, ohne daß der Ernteertrag an Pflanzensubstanz sich in gleicher Weise mindert. Der Gehalt kann, unbeschadet des Ernteertrages, bis zu einer gewissen Grenze sinken, welche (den anderen Nährstoffen gegenüber) in der Nähe des Nährstoffminimums liegt. Ich habe z. B. das Wachstum des Hafers

und dessen Ernteertrag ganz gleichmäßig gefunden, gleichgültig ob die Wurzel einen Gehalt von 1,13 oder nur 0,3 % Kali besaß. Die absoluten Nährstoffmengen, welche dem Boden durch die Pflanzen entzogen werden, können ungemeinen Schwankungen unterworfen sein, ohne daß deshalb der Ernteertrag ein anderer zu sein braucht. Es ist dies eine Folge der Luxuskonsumtion (s. Seite 51). Sobald jedoch der Gehalt sich dem Minimum nähert, ist eine Verminderung des Wachstums unbedingte Folge. Hieraus ergiebt sich die Notwendigkeit, durch sorgfältige Versuche das Minimum der einzelnen mineralischen Nährstoffe für die Pflanzen resp. für die Pflanzenorgane festzustellen, von selbst. Ein Urteil über die Armut des Bodens an irgend einem Nährstoff wird erst dann ermöglicht, wenn man den Gehalt der betreffenden Pflanzenorgane an diesem Nährstoff in Vergleich mit dem Minimal-Gehalt derselben zieht.

Befindet sich ein Nährstoff in dem Boden resp. in dem Pflanzenorgan im Minimum, dann muß eine Düngung mit diesem Nährstoff eine Vermehrung des Gehaltes in der Pflanze in jedem Falle bewirken, wenn die Düngung nicht in zu geringem Maße erfolgt und das gesteigerte Pflanzenwachstum diesen Bestandteil nicht sofort wieder vollständig verbraucht. Kann aber die Pflanze schon vor der Düngung mit dem betreffenden Nährstoff — in Folge des Bodenreichtums — einen Luxus treiben, so braucht die Düngung nicht unbedingt eine Steigerung des Gehaltes in der Pflanze im Gefolge zu haben; in diesem Falle ist gewöhnlich die Bodenbereicherung durch die Düngung dem Bodenreichtum gegenüber verhältnismäßig zu gering und es wird dann von den oben erwähnten äußeren Einflüssen abhängen, ob die Pflanze eine noch höhere Luxuskonsumtion ausführen kann.

Tritt nun der Fall ein, daß ein Nährstoff in der Pflanze (Pflanzenwurzel) sich dem Minimum nähert und die Pflanze in Folge dessen in ihrer Vegetation zurückgeht, so ist es schließlich gleichgültig, durch welche Umstände die Verminderung des Nährstoffs in der Pflanze hervorgerufen wurde. Dem Landwirt tritt dann die Notwendigkeit entgegen, dem Boden größere Mengen des betreffenden Nährstoffs in einer assimilierbaren Form zuzuführen.

Der scheinbar gewichtigste Einwurf, der s. Z. der Hellriegel'schen Methode gemacht wurde, betrifft die Beobachtung, daß die Aufnahme von Salzen (durch Diffusion) nicht allein von der Menge der vorhandenen löslichen Salze im Boden,

sondern gleichzeitig auch von der Gegenwart gewisser anderer Salze abhängig ist. „Die Aufnahme eines Salzes (durch die Pflanzenwurzeln) kann durch die gleichzeitige Gegenwart eines anderen Salzes gewisse Modifikationen erfahren; es kann eine gesteigerte Aufnahme des einen oder eine Verminderung in der Aufnahme des anderen Salzes eintreten." (Wilh. Wolf, in den landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen Bd. VII. S. 216.) Nehmen wir aber an, daß durch die Gegenwart eines die Diffusion des Nährstoffs erschwerenden Salzes die Aufnahme dieses Nährstoffes so erschwert wird, daß sich der Gehalt desselben dem Minimum nähert, was folgt daraus? doch unzweifelhaft die Notwendigkeit, daß man durch Zuführung des Nährstoffs diesen Bestandteil im Boden zu vermehren, die Möglichkeit der gesteigerten Aufnahme seitens der Pflanze zu erhöhen sucht. Wir kennen keine anderen Mittel, welche unter solchen Umständen geeigneter wären die Wirkung der die Diffusion des Nährstoffs erschwerenden Salze zu mindern, als die Erhöhung der Konzentration des Nährstoffs in dem Medium (Boden, Wasser), in welchem die Pflanze wächst. Würde z. B. die Aufnahme von Kali durch die Anwesenheit von Chlorcalcium im Boden gehemmt, so ist das vorhandene Kali eben für die Pflanzen nicht verfügbar, es verhält sich der Pflanze gegenüber gleich denjenigen Kalimengen, welche in unlöslicher Form im Boden vorhanden sind.

Also auch unter solchen Umständen wird der Gehalt der Pflanzen resp. der Wurzeln uns unzweifelhaft den rechten Weg zeigen, den wir beschreiten müssen, um die Erträge an Pflanzensubstanz zu steigern.

11. (Seite 61.) Für den zur Untersuchung gelangenden Pflanzenteil ist das für die einzelnen Nährstoffe nötige Minimum festzustellen, um dann durch den Vergleich prüfen zu können, ob in den einzelnen Fällen sich der Gehalt des betreffenden Nährstoffs im Boden dem Minimum nähert. — Die Notwendigkeit der Kenntnis des Minimal-Gehaltes der Mineralstoffe in den Pflanzen resp. Pflanzenorganen geht bereits aus den Erörterungen der Anmerkung 10 hervor und wiederhole ich hierbei nur, daß das Urteil, ob eine beobachtete Verminderung eines Nährstoffs in dem Pflanzenorgan auf die Vegetation einen schädigenden Einfluß ausübt, erst dann möglich ist, wenn man das notwendige Minimum dieses Nährstoffs für das betreffende Pflanzenorgan kennt, weil eine Vermin-

derung oder Steigerung eines Nährstoffs auf das Wachstum der Pflanzen dann keinen Einfluß ausübt, wenn diese Schwankungen den Gehalt nicht in die Nähe des Minimums bringen. — Die Notwendigkeit, das Minimum der einzelnen Nährstoffe für die Pflanzen in dieser Frage zu kennen, hob s. Z. bereits Hellriegel hervor (s. landwirtschaftliche Versuchs-Stationen Bd. XI. S. 136 ff.). Derselbe wollte jedoch die Minima für die ganze Pflanze resp. für größere Gruppen der Pflanzenorgane (z. B. für Stroh, also einem Gemenge von Blättern, Blattscheiden, Stengelgliedern und Knoten) feststellen. Dies ist aber unmöglich, weil alle diese Organe eine ganz abweichende Zusammensetzung besitzen. Nach den interessanten Untersuchungen Js. Pierre's (Recherches experimentales sur le développement du blé. Paris 1866) enthielten 1000 g Trockensubstanz der Weizenpflanze zur Zeit der Reife (am 25. Juli):

	Kali	Kalk	Phosphorsäure	Stickstoff
sämtliche Blätter	0,77	9,72	2,52	12,99 g,
„ Internodien	2,49	1,78	0,51	3,78 „
„ Knoten	15,64	4,73	1,74	6,64 „.

Nun entsprechen diese Gehalte in den verschiedenen Organen wahrscheinlich nicht den Minimal-Gehalten; zeigen aber die Organe so wesentliche Differenzen in ihrem Gehalte an den einzelnen Mineralstoffen, so ist wohl mit ziemlicher Gewißheit anzunehmen, daß auch das Minimal-Bedürfnis der verschiedenen Pflanzenorgane an den einzelnen mineralischen Nährstoffen ein ganz verschiedenes sein wird.

Die Kenntnis des Minimums der ganzen Pflanze an den Pflanzennährstoffen würde für die vorliegende Frage nur dann eine Bedeutung haben, wenn das Verhältnis der einzelnen Pflanzenorgane zu einander ein ganz gleichmäßiges bliebe, wenn also die Ernte immer einen gleichmäßigen Prozentsatz an Körnern, Stengeln, Blättern u. s. w. aufwies. Daß dies nicht der Fall ist, weiß jeder Landwirt und wurde bereits S. 55 besprochen.

Aus diesem Grunde können auch die von E. von Wolff gefundenen Zahlen für den Minimalgehalt der (ganzen) Haferpflanze an den einzelnen mineralischen Pflanzennährstoffen für unsere Frage keine Bedeutung gewinnen. (S. Tageblatt der 49. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Hamburg. 1876. S. 170.)

12. (Seite 61.) Die Wurzel **reifer** Pflanzen ist für vergleichende Untersuchungen zur Beurteilung der Nährstoffverhältnisse im Boden der zweckmäßigste Pflanzenteil. — Der Gehalt an Pflanzennährstoffen in den Wurzeln ist während der Vegetation der Pflanzen ein höherer als nach der Reife, weil namentlich die Bestandteile, welche in geringer Menge im Boden vorhanden sind, der Wurzel entzogen werden und in die oberirdischen (jüngeren) Pflanzenteile wandern. Für die vorliegende Frage interessiert uns die Kenntnis, welche Verminderung die Wurzel in ihrem Gehalt an Pflanzennährstoffen im Verlaufe ihrer Vegetationszeit erleidet. Versuche in dieser Richtung wurden von mir für den Stickstoffgehalt der Haferwurzel ausgeführt und zwar für die Wurzeln von Haferpflanzen, welche auf stickstoffreichem und stickstoffarmem Boden vegetierten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen enthält die nachstehende Tabelle:

Periode	Tag der Ernte	Höhe der Haferpflanzen von der Wurzel bis zur Rispenspitze. Pflanzen von stickstoffreichem Boden cm	Höhe der Haferpflanzen von der Wurzel bis zur Rispenspitze. Pflanzen von stickstoffarmem Boden cm	Stickstoffgehalt der Pflanzen von stickstoffreichem Boden %	Stickstoffgehalt der Pflanzen von stickstoffarmem Boden %	Bemerkungen.
I.	27. Juni 1878	30	10	2,05	1,75	Die Pflanzen waren im Schossen; die stickstoffarm. Pflanzen sahen hellgelb, die stickstoffreichen blaugrün aus. Die Pflanzen wurden zur Zeit großer Trockenheit geerntet.
II.	10. Juli „	50—55	25—27	1,98	1,08	Die stickstoffarmen Pflanzen erhalten schon braune Blattspitzen; bei den stickstoffreichen Pflanzen ist hiervon nichts zu bemerken.
III.	25. „ „	80—83	30—35	1,19	1,00	Die Blüte ist beendet.

Periode	Tag der Ernte	Höhe der Haferpflanzen von der Wurzel bis zur Rispenspitze.		Stickstoffgehalt der Pflanzen von		Bemerkungen.
		Pflanzen von stickstoffreichem Boden cm	Pflanzen von stickstoffarmem Boden cm	stickstoffreichem Boden %	stickstoffarmem Boden %	
IV.	30. Juli 1878	80—84	30—35	1,29	0,91	Die stickstoffarmen Pflanzen sind schon gelb, nur die Rispe ist noch grünlich. Die stickstoffreichen Pflanzen fangen an gelb zu werden; die unteren Blätter sind braun, die oberen aber noch grün. Die Witterung ist sehr trocken.
V.	6. August „	80—85	30—35	0,92	0,73	Die stickstoffarmen Pflanzen reifen, die Rispe bleicht bedeutender als in der vorhergehenden Periode.—Die Blätter der stickstoffreichen Pflanzen sind fast ganz braun; auch die Rispen bleichen. — Die Witterung ist trocken.
VI	12. „ „	85—100	35—40	1,02	0,79	Die Pflanzen sind reif und werden gemäht.

Von hervorragender Wichtigkeit ist das Ergebnis, daß der Gehalt am Ende der Vegetationszeit nicht wesentlich verschieden ist von dem Gehalt nach der Reife. Das Resultat der Untersuchung wird daher nicht wesentlich davon beeinträchtigt werden, ob die Ernte einige Tage vor oder nach der Reife des Hafers stattgefunden hat.

13. (Seite 62.) Das Wurzelsystem entwickelt sich früher und wird in seinem Wachstum eher abgeschlossen als das der oberirdischen Teile. — Unter-

suchungen hierüber wurden gemeinschaftlich von E. Heiden, O. v. Gruber und R. Fritzsche ausgeführt. (Siehe „Bericht über die Arbeiten der landwirtschaftl. Versuchs-Station des Königl. Sächsischen Markgrafentums Oberlausitz zu Pommritz im Jahre 1868—1869.“ Stuttgart und Leipzig 1870. S. 66 ff.) Aus diesen Untersuchungen hebe ich als Beweis für obigen Satz Folgendes hervor.

Auf 5 □Werkfuß Oberfläche wurde an Trockensubstanz geerntet:

	oberirdische Teile	unterirdische Teile	Auf 100 oberirdische Teile kommen daher unterirdische Teile:
	A. Winterroggen.		
am 8. Mai 1868, vor dem Schossen	86 g	84,0 g	98
am 15. Mai 1868, Pflanzen haben geschoßt .	215 „	60,5 „	28
am 28. Mai 1868, Blüte	244 „	67,2 „	28
am 10. Juli 1868, Reife	411 „	49,0 „	12
	B. Raps.		
am 12. Mai 1868, Blüte	307,7 g	79,4 g	26
am 23. Juni 1868, Reife	610,0 „	49,0 „	8
	C. Klee (im ersten Jahre.)		
am 13. Mai 1868, vor der Knospung . .	89,0 g	60,1 g	67
am 28. Mai 1868, Knospung	205,0 „	128,0 „	62
am 5. Juni 1868, volle Blüte	243,0 „	118,0 „	48
am 15. Juli 1868, Samenreife . . .	173,0 „	133,0 „	77 (?)

14. (Seite 77.) Das relativ geringe Wurzelentwickelungsvermögen reich ernährter Pflanzen. Auch in ökonomischer Beziehung hat diese Gesetzmäßigkeit eine hohe Bedeutung, denn indem eine reichernährte Pflanze relativ ein geringes Wurzelsystem entwickelt, wird auf diese Weise eine zu große Luxuskonsumtion vermieden, die unzweifelhaft in höherem Maße stattfinden müßte, wenn die Wurzelbildung bei reich- und armernährten Pflanzen in gleichem Maße erfolgte. In Folge der beschriebenen Gesetzmäßigkeit beansprucht die reichernährte Pflanze einen geringeren Bodenraum, als ihr sonst zukommen würde, und nutzt auch nur die Nährstoffe in diesem beschränkten Raum für sich aus. Die ökonomische Bedeutung dieser Verhältnisse wird ersichtlich, wenn man sich überlegt, daß die in Luxus aufgenommenen Nährstoffe ganz unproduktiv in den pflanzlichen Geweben lagern.

15. (Seite 79.) Stehen nur geringe Düngermengen in einer Wirtschaft zur Verfügung, so ist die Flachkultur vorzuziehen. Bei der Tiefkultur ist die Verwendung größerer Düngermassen unbedingtes Erfordernis. Ist aber in einem Boden durch reichliche Düngung eine gewisse Nährstoffkonzentration erreicht, dann wird man gut thun mit der Tiefkultur vorzugehen, denn eine weitere Steigerung der Nährstoffe im Boden übt dann keinen Effect mehr und giebt keine höheren Ernten; es erfolgt dann, wie mehrfach betont, nur eine Luxuskonsumtion der Nährstoffe durch die Pflanzen. Beyer kultivierte Haferpflanzen in 3-, 2- und 1 ‰ Nährstofflösungen; das durchschnittliche Gewicht einer Pflanze betrug zur Zeit der Reife

bei 3 ‰ Nährstofflösung = 3,8 g
„ 2 „ „ = 4,0 „
„ 1 „ „ = 4,5 „

Der Ertrag war also ein fast gleicher, die höhere Nährstoffkonzentration hat sogar einen etwas geringeren Ertrag geliefert, als die den Haferpflanzen mehr zusagende 1 ‰ Nährstofflösung. — (Landw. Versuchs-Stationen. Bd. XI. 1869. S. 274.) Indem man bei reichlicher Düngung (= hoher Nährstoffkonzentration) durch Tiefkultur den Raum für die Nährstoffe vergrößert (die Konzentration der letzteren vermindert), zwingt man (nach S. 76 ff.) die Pflanzen ein größeres Wurzelsystem zu entfalten. Jede einzelne Pflanze durchdringt dann einen größeren Raum im Boden mit ihren Wurzeln und bietet dadurch eine größere Sicherheit nicht allein für eine ausgiebige Ernährung, sondern namentlich auch für die Versorgung mit dem nötigen Vegetationswasser. (Siehe S. 117.)

16. (Seite 84.) Ist ein Gehalt von unverarbeiteter Salpetersäure in den Halmgewächsen überhaupt nachzuweisen, so gewinnt die Salpetersäure sehr rasch die Bedeutung eines in Luxus konsumierten Bestandteils. Es könnte hier der Einwand erhoben werden, daß möglichenfalls die stickstoffhaltigen Körper in der Pflanze zeitweise in Salpetersäure zurückgebildet würden, um dann später wieder in organische Körper überzugehen, oder daß am Ende der Vegetation aus stickstoffhaltigen Körpern in der Pflanze wieder Salpetersäure gebildet würde; in diesem Falle hätte natürlich die in den Pflanzen vorgefundene Salpetersäuremenge nicht die Bedeutung eines überflüssigen, in

Luxus konsumierten Bestandteiles. Eine ähnliche (vorübergehende) Abspaltung ist für die Schwefelsäure von Ernst Schulz aus eiweißartigen Substanzen beobachtet worden. (Siehe Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen. Bd. XIX. 1876. S. 172). Daß jedoch die Salpetersäure in den Pflanzen kein der Schwefelsäure analoges Verhalten zeigt, geht daraus hervor, daß es mir zu keiner Zeit möglich war, im Hafer, der auf stickstoffarmem Boden gewachsen war, Salpetersäure nachzuweisen.

17. (Seite 85.) „Die verarbeitete (reduzierte) Phosphorsäure in den Pflanzen steht in keiner Beziehung zu den stickstoffhaltigen Substanzen der Pflanzen, denn sie steigt und fällt nicht mit dem vermehrten Gehalt an stickstoffhaltigen Stoffen.“ Dies erklärt sich daraus, daß auch „nicht eiweißartige“ Stoffe phosphorhaltig sind. Es wurden bekanntlich in den Pflanzen phosphorhaltige Öle und phosphorhaltige wachsartige Substanzen nachgewiesen.

18. (Seite 107.) Der Wasserverbrauch der Kulturpflanzen ist im Allgemeinen höher als der Regenfall während der Vegetationszeit. An einem andern Orte („Der Einfluß der Pflanzendecke und Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften und Fruchtbarkeit des Bodens.“ — Berlin 1877. S. 126) kommt Wollny durch seine Versuche zu einem mit unseren Folgerungen übereinstimmenden Schluß. Er sagt: „Aus diesen in größerer Zahl während verschiedener Jahre (1874, 1875 und 1876) auf verschiedenen Bodenarten hervorgetretenen Erscheinungen wird der Schluß gezogen werden dürfen, daß in unserem Klima die atmosphärischen Niederschläge ausreichend sind, um den Wasserbedarf der Pflanzen zu decken; daß zwar unter gewissen Umständen die während der Vegetationszeit verdunstete Wassermenge größer sein kann, als die während derselben Zeit gefallene Regenmenge, daß das hierdurch entstehende Defizit aber durch die während der vegetationsfreien Zeit sich ansammelnden Wassermengen genügend beglichen wird.“

19. (Seite 116.) Die Bedeutung des Untergrundes für die Wasserverhältnisse der Ackerkrume. Auf der andern Seite muß darauf hingewiesen werden, daß der Effekt, den die Untergrundsverhältnisse auf

die Ackerkrume ausüben, zweckmäßig direkt in der Ackerkrume selbst bestimmt wird. Die Ackerkrume kann eine Beschaffenheit zeigen, welche ungünstige Untergrundsverhältnisse ausgleicht. Man kann deshalb nicht ohne Weiteres vom Untergrunde auf die Ackerkrume schließen. Dem Untergrunde kann immer nur eine indirekte Bedeutung für die Pflanzenkultur zugesprochen werden, da der Wohnsitz der Wurzeln unserer landwirtschaftlichen Kulturpflanzen (wenn man von vereinzelten Fällen absieht) ausschließlich die nährstoffreiche Ackerkrume ist. Ich habe zahlreiche Ausgrabungen der Wurzeln unserer Kulturpflanzen vorgenommen; unsere Cerealien, Buchweizen und andere einjährige Kulturpflanzen entwickeln die Wurzeln ausschließlich in der Ackerkrume; kräftige Exemplare der Erbsen und Lupinen senden allerdings ihre Pfahlwurzel bisweilen in die Schichten des Untergrundes, namentlich wenn dieser locker ist; aber besieht man das blos gelegte Wurzelsystem dieser Pflanzen, so bemerkt man, daß eine Verzweigung und eine Bildung von Wurzeln 2. und 3. Ordnung ausschließlich in der Ackerkrume erfolgt ist; die in den Untergrund eintretende Pfahlwurzel ist lang, dünn und gleicht in ihrer äußeren Form den Wurzeln, welche sich in einem nährstoffarmen oder nährstofffreien Medium entwickeln. Wer eine größere Reihe von Wurzeln derjenigen Pflanzen untersucht hat, die man gewöhnlich als s. g. „Tiefwurzler“ bezeichnet, wird die Überzeugung erlangen, daß die genannten Pflanzen in jedem Falle ihre hauptsächlichsten Nährstoffe aus der Ackerkrume, nicht aus dem Untergrunde, schöpfen und daß es ein Irrtum ist, wenn man z. B. von der Lupine und Erbse annimmt, daß diese ihre Nahrung in dem Untergrunde suchen.

20. (Seite 116.) Die Wasser-Kapazität der Bodenarten kann nur mit dem Boden in seiner natürlichen Lagerung festgestellt werden, wenn man Zahlenverhältnisse erhalten will, welche für die Praxis der Pflanzenkultur verwertbar sind. Zu den Untersuchungen auf freiem Felde empfehle ich folgendes Verfahren, das ich bei allen Versuchen benutzt habe.

Der Boden wird zunächst, in seiner natürlichen Lage, mit Wasser gesättigt. Dazu wird ein runder Blechcylinder benutzt, ca. 20 cm im Durchmesser und 40 cm hoch. Der untere Rand des Blechcylinders wird 1—2 cm tief in den Boden eingetreten und ist zu diesem Zwecke aus zuge-

schärftem starken Eisenblech angefertigt und seitlich mit 2 angenieteten Trittleisten versehen; ziemlich am Boden innerhalb des Cylinders befindet sich ein feines Sieb, welches den Zweck hat, den Fall des eingegossenen Wassers zu mildern, so daß der Boden nicht mechanisch durch den Wasserstrahl aufgerührt wird. Nachdem man den Cylinder an geeigneter Stelle in den Boden eingetreten hat, so daß seitwärts kein Wasser ausfließen kann, wird er ganz voll Wasser gegossen. Das Ausheben der Erde erfolgt 18—24 Stunden nach dem beendeten Durchtränken des Bodens mit Wasser, weil erst nach dieser Zeit dasjenige Wasser, welches der Boden nicht festhält, sich verzogen hat und der Boden erst dann die seiner Kapazität entsprechende Wassermenge enthält. Damit in der Zwischenzeit die durchfeuchtete Erde durch Verdunstung nicht trockener wird, als ihrer Kapazität entspricht, oder durch später fallende Regen nicht abermals befeuchtet wird, bedeckt man zweckmäßig die durchtränkte Stelle mit einem Brett oder starkem Papier. Die Probeentnahme erfolgt mit dem Spaten, jedoch mit der Vorsicht, daß durch den Druck des Spatens das Wasser nicht mechanisch aus dem Boden herausgedrückt wird; letzteres kann man vollständig vermeiden, wenn man die Fläche des Spatens immer von der zu entnehmenden Probe sanft abdrängt. Nachdem man die Erde bis zur Mitte der von dem Blechcylinder begrenzten Fläche durch einen Vorderstich mit dem Spaten entfernt hat, trennt man aus der Mitte des durchtränkten Erdreichs einen schmalen Streifen bis zum Untergrunde (der sich gewöhnlich scharf markirt) ab und schneidet von dem herausgehobenen Streifen mit einem Messer die Mittelpartie heraus; die oberste 2—4 cm starke Schicht der Ackerkrume entfernt man ebenfalls (da diese durch Verdunstung Feuchtigkeit verloren haben kann) und bringt dann die restierende Erdprobe vorläufig in ein luftdicht schließendes Gefäß, um später darin die Feuchtigkeit zu bestimmen. — Bequemer erfolgt die Probeentnahme durch einen kleinen Erdhohlbohrer, wie solcher von dem Klempnermeister Th. Neese in Rostock nach meinen Angaben für diesen Zweck geeignet angefertigt wird. — Die Wassermenge, welche der Boden zurückhält, wird immer auf 100 T. Trockensubstanz des Bodens berechnet. Die über 0,5 cm großen Steinchen, welche sich in der Probe befinden, werden späterhin ausgeschlossen und ihr Gewicht in Abzug gebracht. Die geringe Menge Wasser, welche diesen Steinen anhaftete, kann füglich unberücksichtigt bleiben. —

Daß man nach der Sättigung des Bodens 18—24 Stunden vorübergehen lassen muß, ehe die Wassermenge einige Zeit konstant bleibt, lehrten folgende Versuche. Ein lehmiger und ein Sandboden, in der vorbeschriebenen Weise mit Wasser behandelt, ergaben (auf 100 Gewichts-T. Trockensubstanz des Bodens berechnet) folgenden Wassergehalt:

	Lehmboden:	Sandboden:
Sofort nach der Sättigung mit Wasser entnommen .	?	24,0 Gew.-T.
2 Stunden darauf . . .	20,3 Gew.-T.	15,4 "
6 " " . . .	20,4 "	8,9 "
17 " " . . .	17,7 "	8,9 "
24 " " . . .	17,2 "	8,1 "
	17,1 "	8,1 "

21. (Seite 118.) Bestimmung des Liter-Gewichtes der Bodenarten. Es existiert bisher noch keine allgemein angenommene Methode, nach welcher man das Litergewicht der Bodenarten feststellt. Um durch die Bestimmungen Zahlen zu gewinnen, welche den natürlichen Verhältnissen entsprechen, ist man zunächst versucht, die Bestimmung des Litergewichts des Bodens ebenfalls direkt auf dem Felde (mit dem Boden in seiner natürlichen Lagerung) vorzunehmen. Hierbei stößt man aber auf so viele praktische Schwierigkeiten, daß diese direkten Bestimmungen zu sehr unsicheren und differierenden Zahlen führen. Die direkte Feldprobe kann ich daher für die oben genannten Bestimmungen nicht empfehlen. (Siehe hierzu die Arbeiten von Havenstein in den landwirtschaftlichen Jahrbüchern, herausgegeben von v. Nathusius und H. Thiel Bd. VII. [1878] S. 293). — Außerhalb des Feldes wird diejenige Methode die annehmbarste sein, durch welche das Gewicht des Bodens unter den natürlichen Verhältnissen entsprechenden Bedingungen festgestellt werden kann. Unter den natürlichen Verhältnissen wird die mechanisch durch die Ackerinstrumente aufgelockerte Ackerkrume durch die atmosphärischen Niederschläge zusammengeschwemmt; man könnte in Rücksicht hierauf den Boden in zweckmäßig hergerichtete Gefäße (etwa in graduierte Büretten-Röhren) einfüllen, durch Wasser einschwemmen und das Volum des eingeschwemmten Bodens an den graduierten Röhren ablesen. Mit Sandböden sind diese Versuche sehr leicht und rasch auszuführen; bei den thonigen Böden jedoch nimmt das Einschwemmen unverhältnismäßig

lange Zeit in Anspruch, da der Thon das Wasser sehr zähe zurückhält und es schwer weiter leitet. Vergleichende Versuche, welche ich mit verschiedenen Böden ausführen ließ, führten nun zu dem Resultat, daß das Litergewicht wenig humushaltiger Bodenarten auf viel einfachere Weise bestimmt werden kann und nahezu dieselben Resultate liefert, als das Einschwemmen. Ein 100 ccm-Gefäß wird nämlich mit lufttrockener Erde gefüllt und der Boden durch sanftes Aufschlagen des Gefäßes auf eine Korkunterlage so lange verdichtet, bis eine Volumenverminderung nicht weiter erfolgt. Dazu gehört, je nach der Bodenart, 1/2 bis 1 Stunde. Das betreffende 100 ccm-Gefäß muß während der Behandlung immer bis zur Marke mit dem Ackerboden wieder aufgefüllt werden.

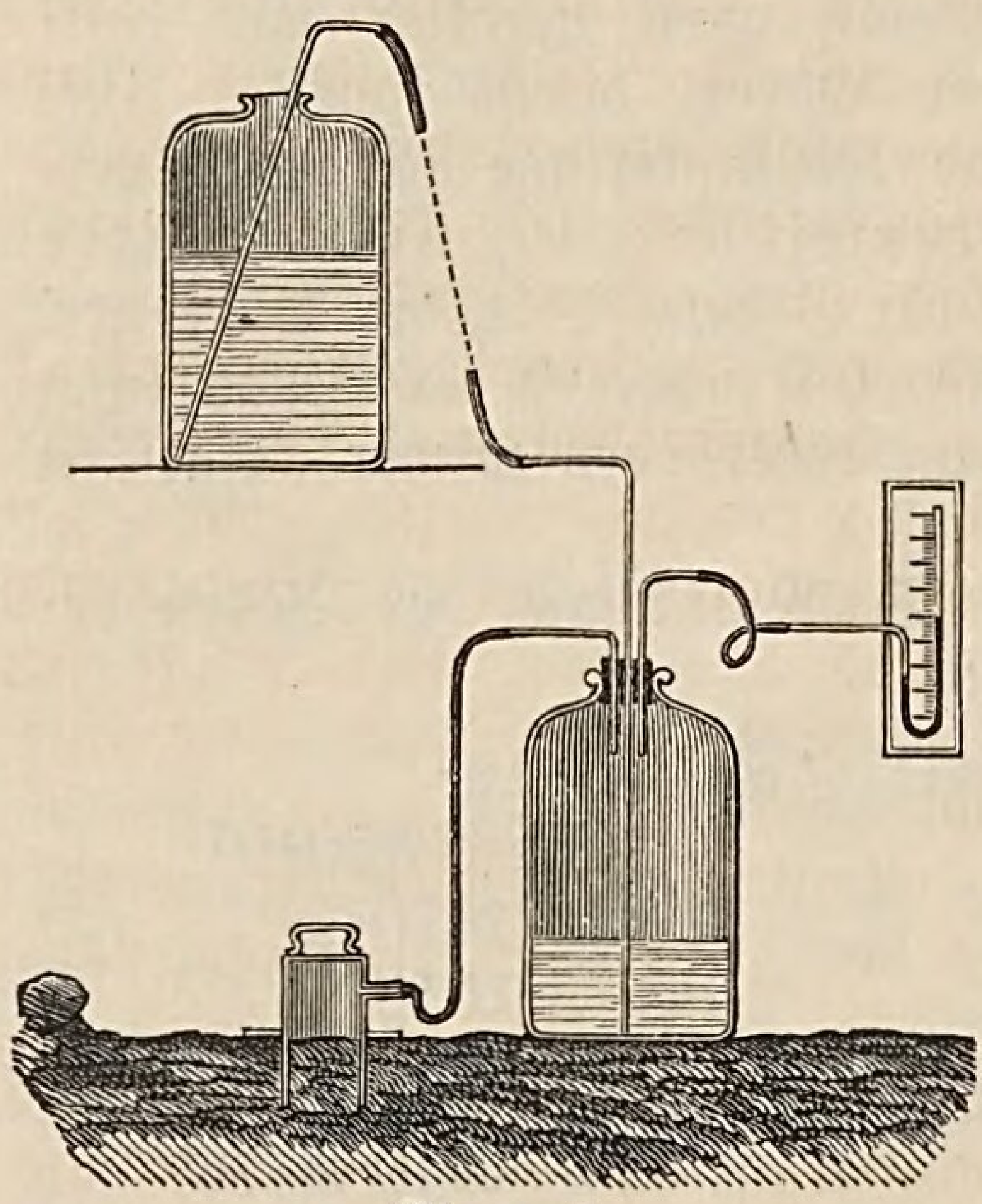
Es wurde z. B. das auf Trockensubstanz der Böden berechnete Litergewicht gefunden:

Eingeschwemmt:	Eingeschüttelt:
A. Versuche mit Sandboden:	
1450 g	1470 g
1480 „	1510 „
B. Versuche mit Lehmboden:	
1350 g	1340 g
1570 „	1520 „

Von besonderem Interesse ist bei den vorstehenden Zahlen der Umstand, daß der Wassergehalt, den die eingeschwemmten Bodenarten bei der Ablesung des Bodenvolumens besaßen, keinen merkbaren Einfluß auf das Volumgewicht äußerte. Der Lehmboden des 2. Versuchs enthielt in dem einen Falle (eingeschwemmt) 271 g, in dem andern Falle (eingeschüttelt) 61 g Wasser in 1 *l*. In beiden Fällen war aber das Gewicht des in 1 *l* enthaltenen trocknen Bodens annähernd dasselbe. Es folgt daraus die Notwendigkeit, das Liter-Gewicht der Bodenarten immer auf Trockensubstanz zu berechnen. Es ist dann gleichgültig, welchen Feuchtigkeitsgehalt die zum Versuch verwendete Erde besitzt. — Das Litergewicht der Humusböden kann aber auf diese Weise (durch Einschütteln) nicht bestimmt werden, da die Humussubstanzen durch Wasser zu stark aufquellen und ihre Volumen vergrößern. Das Litergewicht dieser Bodenarten bestimme ich durch Einschwemmen in Büretten-Röhren.

22. (Seite 125.) Versuche zur Bestimmung des

Widerstandes, den verschiedene (nasse) Bodenarten dem Durchtritt der Luft entgegensetzen. Zu den Versuchen diente der Apparat, welchen die Figur 3 zeigt. Der Blechkasten, vermittelst welchem die Luft durch den (durchfeuchteten) Boden geleitet wird, ist aus starkem Eisenblech angefertigt; er hat eine untere Öffnung von 10 cm im Quadrat und eine Höhe von ca. 20 cm. In einer Höhe von genau 10 cm ist außen ein 5 cm breites Eisenblech im rechten Winkel angelötet, so daß der Kasten genau nur 10 cm tief in den Boden eingetreten werden kann. Er umschließt sonach, in den Boden eingetreten, einen Erdwürfel von 10×10×10=1000 ccm. — Der noch über der Erde befindliche Teil des Kastens bildet eine Art Windkessel; er steht durch offene Röhren in Verbindung mit einer Flasche, welche ungefähr 10 *l* faßt und aus welcher durch einfließendes Wasser die Luft nach dem Blechkasten hinüber und dort bei entsprechendem Druck durch das Erdreich gepreßt wird. Der Zufluß des Wassers erfolgt durch einfache Hebervorrichtungen; der Druck wird erzielt durch Erhöhung des betreffenden Wasserreservoirs. Mit der unteren Flasche steht ein Wasser- resp. Quecksilbermanometer in Kommunikation; dasselbe dient zur Messung des Luftdruckes. Die Röhrenverbindung besteht aus Glas- und starkwandigen Kautschukröhren.



Figur 3.

Bei Ermittelung des Druckes, welcher erforderlich ist, um Luft durch die Bodenarten zu pressen, ist es nötig, bei der schrittweisen Verstärkung des Druckes je 1—2 Minuten zu warten und an dem Manometer zu prüfen, ob ein Durchgang von Luft in dieser Zeit erfolgte. Zu diesem Zweck wird der zufließende Wasserstrahl der Hebervorrichtung an dem Kautschukschlauch durch einen Quetschhahn unterbrochen.

Der Blechkasten läßt sich nur in durchfeuchtete Erde eintreten, der gefundene Druck bezieht sich daher immer nur

auf feuchten Boden. Die Durchfeuchtung des Erdreichs erfolgt nach der Seite 218 (Anmerkung 20) beschriebenen Methode.

23. (Seite 127.) Die größere oder geringere Energie, mit welcher die Bodenarten Sauerstoff aufnehmen, ist bei der Beurteilung der Durchlüftbarkeit der Bodenarten von Ausschlag gebender Bedeutung. — Wir müssen eine chemische und eine physikalische Bindung des Sauerstoffs durch den Boden unterscheiden; diese verschiedene Bindung des Sauerstoffes besitzt für die Pflanzen eine wesentlich verschiedene Bedeutung.

Die größte Menge Sauerstoff im Boden wird chemisch gebunden; die Metalle der bodenbildenden Gesteine, die Schwefelverbindungen und die Humussubstanzen gehen mit dem Sauerstoff chemische Verbindungen ein; es entstehen Metalloxyde, Schwefelsäure, und aus dem Kohlenstoff der Humussubstanzen bildet sich Kohlensäure. Durch diese Vorgänge kann die Bodenluft vollständig ihres Sauerstoffs beraubt werden. Solche sauerstoffbedürftige Körper werden sich immer da ansammeln, wo der Zutritt des atmosphärischen Sauerstoffs erschwert ist. Dies wird namentlich in den nassen Böden der Fall sein, wo das Wasser alle Poren des Erdreichs erfüllt und so die Berührung zwischen Luft und Boden hindert. Dies ist der Zustand, welcher für die Pflanzen, wie bekannt, so schädlich ist.

Die physikalische Absorption des Sauerstoffs beruht in einer Verdichtung dieses Gases auf der Oberfläche der Bodenpartikel. Alle festen Körper sind mit einer Hülle von verdichteten Gasen umgeben. Man kann diese adhärierende Luftschicht auf mechanische Weise beseitigen. Fährt man z. B. mit dem Finger über eine Fensterscheibe, über eine Metallplatte oder dergl. und haucht sodann auf das Glas oder Metall, so erhält man aus dem Ansatz der Wassertröpfchen des Hauches ein genaues Bild von der stattgehabten Berührung mit der Glasscheibe oder Metallplatte. Durch die Reibung wurde die adhärierende Luftschicht beseitigt und giebt die beseitigte und noch vorhandene Luftschicht Veranlassung zu dem verschiedenartigen Ansatz der Wassertröpfchen. Setzt man die Scheiben oder Platten Dämpfen aus, z. B. Quecksilberdampf, so wird sich letzterer nur an den Stellen der Platten ansetzen, an welchen die Luftschicht weggewischt wurde. — Auch unter der Luftpumpe läßt sich die Verdichtung von Luft an der Oberfläche der Körper leicht nachweisen, wenn

man die betreffenden Körper vor der Luftverdünnung in Wasser bringt; man sieht alsdann Luftbläschen von der Oberfläche sich abheben und emporsteigen.

Während der chemisch gebundene Sauerstoff im Boden für die Atmung der Pflanzenwurzeln verloren geht, ist der physikalisch von den Bodenteilen gebundene Sauerstoff für die Pflanzen nutzbar.

Leider ist die Sauerstoffabsorption durch die Bodenarten in neuerer Zeit nur wenig bearbeitet und es sind mannigfache Fragen in dieser Beziehung noch nicht aufgeklärt. Alex. v. Humboldt (vergl. A. v. Humboldt: „Versuche über die chemische Zerlegung des Luftkreises und über einige andere Gegenstände der Naturlehre.“ Braunschweig 1799. S. 117) hatte bereits im Jahre 1794 nachgewiesen, daß die Erde (grauer Thon) aus den Gängen der Bergwerke erst dann fruchtbar wurde, wenn sie längere Zeit an der Luft gelegen und Sauerstoff absorbiert hatte. A. v. Humboldt nahm an, daß ein Teil des absorbierten Sauerstoffs zur Oxydation der Kohle in dem Thon und zur Kohlensäurebildung verwendet, der größere Teil aber auf physikalische Weise von dem Boden absorbiert würde. Acker- und Gartenerde, welche A. v. Humboldt 14 Tage lang in Gefäße mit Luft einschloß, verminderten den Sauerstoffgehalt derselben von 27 bis auf 9—5 Teile. — Nach späteren Untersuchungen von Ingenhouß („Über Ernährung der Pflanzen und Fruchtbarkeit des Bodens“, deutsch von Fischer. Leipzig 1798), Th. de Saussure („Chemische Untersuchungen über die Vegetation“, deutsch von Voigt. Leipzig 1805. S. 160 ff.) scheint jedoch die Sauerstoffabsorption aus rein chemischen Gründen im Boden zu erfolgen. Dasselbe scheint auch aus den Untersuchungen Schübler's (dessen Originalarbeiten mir nicht zur Einsicht standen) hervorzugehen. — Die Notwendigkeit, daß ein Neuboden erst längere Zeit an der Luft liegen muß, ehe er fruchtbar wird, läßt sich auch einfach daraus erklären, daß durch die hierbei erfolgte Verwitterung Pflanzennährstoffe löslich und für die Pflanzen aufnehmbar werden. Doch ist die Sache noch nicht genügend aufgeklärt. Möglich ist es immerhin, daß der Neuboden, z. B. der frisch aufgeackerte Untergrund, für die Pflanzen erst dann unschädlich ist, wenn sich die Bodenpartikelchen mit einer solchen Hülle von Luft umkleidet haben, wenn eine Verdichtung von Gas stattgefunden hat.

Bekanntlich wird auch die „Gare“ des Bodens auf eine

solche physikalische Verdichtung der Luft auf die Bodenpartikel zurückgeführt. Es ist dies aber eine Annahme, die bisher noch des direkten Beweises entbehrt. —

Nach einer Methode von E. Reichardt (s. Zeitschrift für analytische Chemie Bd. VII. [1866] S. 184) wurde von Blumtritt (Zeitschrift für deutsche Landwirte 1866, S. 169), Döbrich (Preußische Annalen der Landwirtschaft. Bd. 52. S. 181) und Scheermesser („Die Absorption der Gase durch Erdgemische". Jena 1871) die Absorption verschiedener Erdarten für Gase untersucht und dabei u. A. folgendes Resultat gefunden:

Substanz:	100 g Subst. entwickelten Gas ccm	100 Vol.-Subst. entwickelten Gas Vol.	100 Vol.-Teile Gas enthielten Stickstoff	Sauerstoff	Kohlensäure
Eisenoxydhydrat, lufttrocken .	375,54	308,6	26,29	3,85	69,86
Thonerde, lufttrocken . . .	69,02	82,0	40,60	0,00	59,40
Thon	46,10	48,5	83,12	16,88	0,00
Sand	14,30	23,4	79,70	20,30	0,00
Humus . . .	205,10	94,6	48,82	3,29	47,89.

Der Sauerstoffbedarf des Bodens ist, dem Bedarf der atmenden Pflanzen gegenüber, ein verhältnismäßig sehr geringer. 5,5 ccm eines Bodens, sehr naß und sauerstoffbedürftig, humusreich, 20 cm unter der Oberfläche entnommen, absorbierten in 22 Tagen 10,01 ccm Sauerstoff, bei einer Temperatur, welche zwischen 16 und 18° C. schwankte, pro Tag also 0,45 ccm. Das Bodengewicht wurde nicht bestimmt. Nehmen wir es zu 1500 g an, so berechnet sich der Sauerstoffbedarf pro Tag und g zu 0,055 ccm, während die lebende Haferpflanze bei einer Temperatur von 17° C. (Seite 17, V. Periode) pro g einen Sauerstoffbedarf von 3,06 ccm zeigte.

24. (Seite 127.) Die Drainage, ein Mittel die Durchlüftungsfähigkeit des (nassen) Bodens zu erhöhen. Die ungenügende Durchlüftung des Bodens sollte aber auch den einzigen Grund bilden, um auf einem Felde die Drainage auszuführen. So enorme Erfolge die Drainage unter den genannten Verhältnissen aufweist, so sehr kann man die Ertragsfähigkeit des Bodens mindern, wenn man die Drainage am unrechten Orte anlegt. Man entzieht dann den Pflanzen die wertvolle Bodenfeuchtigkeit und schädigt dadurch die Vegetation. Ist ein Boden genügend durchlüftbar, so bedarf es nirgends einer Drainanlage.

25. (Seite 130). **Bestimmung des Zusammenhangs des Bodens und dessen Adhäsion an Holz und Eisen.** — A. Bestimmung des Zusammenhangs des Bodens. Die bisherigen Untersuchungen über Zusammenhang des Bodens wurden immer nur mit lufttrocknen Bodenproben ausgeführt. Das Resultat solcher Untersuchungen ist für die Praxis deshalb von geringerer Bedeutung, als die Praxis sich gewöhnlich nur mit mehr oder weniger durchfeuchteten Bodenarten beschäftigt und letztere einen andern Zusammenhang besitzen, als trockne Böden. Zur Bestimmung des Zusammenhanges feuchter Böden möchte ich folgende Methode vorschlagen, die, weit entfernt unverbesserlich zu sein, nach meiner Ansicht doch genügende Resultate zu geben scheint. Die zu untersuchenden Bodenarten werden mit so viel Wasser gleichmäßig durchfeuchtet, daß der Wassergehalt 50 % ihrer **höchsten Wasser-Kapazität** beträgt (die Wasser-Kapazität wird nach der Laboratorium-Probe S. 113 festgestellt). Sodann wird die feuchte Erde zwischen 2 je 1 □dcm große Stücke Eisenblech gequetscht, so daß die Erde dem Eisenblech fest anhaftet. Die zwischenlagernde Erdschicht soll eine Mächtigkeit von 5—10 cm besitzen. Die herausgequetschte Erde wird mit einem Messer scharf abgeschnitten, so daß die Erdsäule überall die Stärke der deckenden Eisenbleche besitzt. Letztere besitzen an ihren äußeren Seiten Haken, die obere Platte zum Aufhängen des Ganzen (Bleche mit Erde), die untere zum Anhängen eines kleinen Körbchens, in welches man so lange Sand, Granaten oder dergl. einschüttet, bis die Erdsäule zerreißt. Dann wird die Eisenplatte nebst Körbchen mit Gewichten, sowie die an der abgerissenen Platte anhaftende Erde gewogen. Das Gewicht entspricht der Kraft, welche nötig ist, um den Zusammenhang der Erde zu überwinden. Natürlich ist die Methode nur bei solchen Erdarten anwendbar, bei welchen die Adhäsion an die Eisenplatte größer ist als die Kohäreszenz des Bodens.

B. Bestimmung der Adhäsion der Bodenarten an Eisen oder Holz. — Auch hier wird die Erde mit 50 % ihrer höchsten Kapazität mit Wasser durchfeuchtet, in ein größeres Gefäß gebracht und auf die Oberfläche eine ähnliche Eisenplatte von 1 □dcm Fläche, wie oben, aufgedrückt, so daß eine vollständige Berührung der Platte mit der Erde stattfindet. Diejenige Seite der Platte, welche mit der Erde in Berührung sich befindet, muß glatt poliert sein. Dann wird die **Kraft** gemessen, welche nötig ist, um die Platte von der

Erde abzureißen. Dies erfolgt durch Gewichte (Sand oder dergl. in einem Gefäß), welche vermittelst Bindfadens über Rollen mit der Platte verbunden sind. Die Kraft, welche erforderlich ist, um die Adhäsion der Erde an die Platte zu überwinden, entspricht den angewandten Gewichten, abzüglich des Gewichtes der abgerissenen Platte. — In gleicher Weise kann der Versuch mit einer 1 □dcm großen glatten Buchenholzplatte ausgeführt werden.

26. (Seite 135.) Unter Umständen kann sich der Boden beträchtlich höher erwärmen als die Luft. — A. v. Humboldt fand die Temperatur eines losen groben Granitsandes zu 60° C., während die Temperatur der Luft in der Sonne nur 36° C. betrug. — Bravais und Martius beobachteten auf dem Faulhorn (2683 m) am 28. September 1844 um 12 Uhr eine Boden-Temperatur von 39,8° C. bei einer Lufttemperatur von nur 9,9° C.

27. (Seite 142.) Die im Texte befindlichen Angaben und Berechnungen stützen sich hauptsächlich auf die interessanten Mitteilungen von Schübeler in dessen „Kulturpflanzen Norwegens" 1862.

28. (Seite 142.) Die mittleren Temperaturverhältnisse. Über die beschränkte Bedeutung, welche die Durchschnittstemperaturen in Beziehung auf Pflanzen-Kulturen besitzen, siehe Seite 152 ff. — Der Verfasser war leider genötigt, für die Berechnungen im Text zum Teil Durchschnittstemperaturen zu Grunde zu legen, da ihm die Zahlen über beobachtete Tages- und Nachttemperaturen der betreffenden Orte nicht zur Verfügung standen.

29. (Seite 156.) „Die Temperaturen am Tage und in der Nacht haben für die Pflanzen eine ganz verschiedene, entgegengesetzte Bedeutung." Hieraus folgt auch, daß die von Boussingault berechneten Wärmesummen, welche die Pflanzen für ihre Vegetation bedürfen sollen (siehe J. B. Boussingault: „Die Landwirtschaft in ihren Beziehungen zur Chemie, Physik und Meteorologie, deutsch von Graeger. II. Bd. Halle, 1845. Seite 435 ff.), keine sichere Unterlage bilden können, um die Ansprüche der Pflanzen an die Temperatur wirklich kennen zu lernen. Boussingault zählte bekanntlich die Tage, welche die

Pflanzen von der Keimung bis zur Reife bedürfen, und multiplizierte die Summe mit den mittleren Tagestemperaturen. Das Produkt bezeichnete er als „Wärmesummen". Hiernach sollten bedürfen:

Winterweizen .	1960—2534	Wärmesummen,
Gerste . . .	1708—1890	"
Mais . . .	2440—3064	"
Kartoffeln . .	2078—3192	"

Aber wie viel Wärme wurde hier am Tage, wie viel des Nachts geliefert? Welche Temperaturen standen den Pflanzen zu der Zeit zu Gebote, wo sie im Stande waren organische Stoffe neu zu produzieren oder diese durch Atmung zu zerstören? Die mittleren Tages-Temperaturen umfassen sich entgegenstehende Größen; bei der Berechnungsweise Boussingault's werden die Tages- und Nachttemperaturen nur in einem Sinne gebraucht und verwertet. Das Resultat muß deshalb ein irriges sein.

Zu richtigen Resultaten wird man auf diesem Wege nur dann kommen, wenn man Wärmesummen je für die Tages- und Nachtzeit berechnet. Um aber auch diese „Wärmesummen" richtig zu deuten, muß man berücksichtigen, daß für die verschiedenen Entwickelungsperioden der Pflanzen ein Temperaturminimum, -Optimum und -Maximum existiert.

30. (Seite 157.) Bildung reifer Samen. Mit der Bezeichnung Samenreife wird in der Praxis viel Willkür getrieben. Häufig werden die Samen als reif bezeichnet, wenn sie keimfähig sind. Dies ist durchaus nicht der Fall. Die Körner unserer Kulturpflanzen z. B. können keimen, wenn sie noch ganz unreif sind; Roggenkörner, 3 Wochen vor der Reifezeit den Ähren entnommen, waren schon fähig auszukeimen und sich zu normalen Pflanzen zu entwickeln. Die Sojabohne konnte von mir im Freien bei 4jährigen Kulturversuchen niemals zur Reife gebracht werden und doch hatte sie keimfähige Samen erzeugt. Ein Korn ist erst dann reif, wenn die Einlagerung der Reservestoffe von der Mutterpflanze in das Samenkorn vollständig beendet ist. (Dies fällt meist zusammen mit dem natürlichen Absterben des Krautes.) Der Same ist dann keimfähig, wenn der Embryo seine wesentlichste Ausbildung erfahren hat. Reservestoffablagerung und Embryobildung sind aber zwei vollständig getrennte physiologische Vorgänge in der Pflanze.

Reife Weizen-, Roggen-, Gersten-, Hafer-, Mais- und

Buchweizenkörner enthalten nach meinen Untersuchungen keine Spur von Krümelzucker. Ebenso auch reife Kartoffelknollen. Im unreifen Zustande enthalten die genannten Körner und Knollen größere oder geringere Mengen Krümelzucker, wie man leicht nachweisen kann, wenn man die der Länge nach zerschnittenen Körner oder die in Scheiben geschnittenen Knollen mit Fehling'scher Lösung ein Mal aufkochen läßt.

Ich halte das Verschwinden des Krümelzuckers in den betreffenden Organen als das sicherste Kriterium für die eingetretene Reife.

31. (Seite 161.) „Eine Tötung der Pflanzen durch Frost ist nicht denkbar, wenn die Temperatur in den Pflanzen sich nicht mindestens auf 0° erniedrigt." Die wirkliche Erfrierungs-Temperatur liegt aber für die meisten Pflanzen viel niedriger als 0°, weil die Säfte der Pflanzen eine Lösung darstellen, deren Wasser erst bei einer Überkältung zum Gefrieren gebracht werden kann. Bei Versuchen von Hermann Müller-Thurgau (s. landwirtschaftliche Jahrbücher, herausgegeben von H. Thiel 1880. S. 133) mußte in dem einen Falle (bei dem Blatt von Tradescantia mexicana) eine Abkühlungstemperatur von —10,6° C. angewendet werden, ehe die Eisbildung in den Pflanzengeweben beobachtet werden konnte. (Während der Eisbildung stieg sodann die Temperatur wieder bis auf —4,95° C.)

32. (Seite 167.) Berechnung der Besonnungsdauer und Belichtungs-Intensität. Leider bleiben die Angaben über Dicke der Wolken, soweit sie durch die Exponenten 0, 1 und 2 ausgedrückt werden, bei den vom Königl. preuß. meteorologischen Institut berechneten Monatsübersichten ganz unberücksichtigt. Es dürfte sich empfehlen, ebenso wie dies für die mittlere Bewölkung geschieht (bedeckte Himmelsfläche, ohne Unterschied der Dicke der Wolken), auch für die Wolkendichte mittlere Zahlen zu berechnen und diese den Publikationen einzuverleiben.

Wie verschieden die Wolkendichte in den verschiedenen Jahren ist, geht z. B. aus den Beobachtungen der Station in Rostock hervor. Setzt man

dünne Wolkenschichten	=	1,
mittlere Wolkendichte	=	2,
starke, dunkle Wolken	=	3,

so betrug die Wolkendichte

in den Jahren	1880	1881
Januar	2,66	1,95
Februar	2,53	1,92
März	2,31	1,95
April	2,36	1,96
Mai	2,30	1,79
Juni	2,50	2,05
Juli	2,19	1,99
August	1,92	1,99
September	2,39	1,97
Oktober	2,15	2,00
November	2,20	1,91
Dezember	2,19	1,94
Im Durchschnitt . . .	2,31	1,95

Die Wolkendichte ist im Durchschnitt am Tage geringer als Morgens und Abends. Sie betrug nämlich

	Morgens 8 Uhr	Mittags 2 Uhr	Abends 10 Uhr
im Jahr 1880	2,31	2,26	2,36,
„ „ 1881	2,00	1,94	1,92,
im Durchschnitt	2,16	2,10	2,14.

Dies ist für die Vegetation von großer Wichtigkeit.

33. (Seite 190.) Durch eine systematische Prüfung der Bodenarten in Rücksicht auf die Faktoren der Pflanzenproduktion werden wir gleichzeitig ein richtiges Bild über die Bedürfnisse unserer Kulturpflanzen erlangen. Die Ansprüche, welche die einzelnen Kulturpflanzen an die Bodenbeschaffenheit und an das Klima erheben, sind bisher nur im Allgemeinen festgestellt; genaue Bestimmungen der Minima und Optima der Faktoren der Pflanzenkultur sind nur für vereinzelte Fälle erst ausgeführt worden. In dieser Beziehung liegt noch ein weites Feld der wissenschaftlichen Forschung vor uns. Ich hoffe, daß der von mir beschrittene Weg, die Bedürfnisse der Kulturpflanzen festzustellen, ganz neue Gesichtspunkte eröffnen wird. — In Nachstehendem sind von mir einzelne Zusammenstellungen der Bedürfnisse der Pflanzen versucht worden, soweit dies nach meinen Arbeiten oder nach fremden Beobachtungen möglich war. Ich gebe diese Zusammenstellungen zur Zeit nur als Bruchstücke, muß mir auch Korrekturen vorbehalten, da die benutzten Unterlagen zum Teil noch unzureichend sind. Die kurzen Zu-

sammenstellungen sollen nur im Allgemeinen ein Bild davon geben, welche Kenntnisse wir uns über die Ansprüche der Pflanzen verschaffen müssen, damit wir letztere zu befriedigen und die Erträge an Pflanzen bis zum höchsten Maße zu steigern im Stande sind.

Ansprüche der Pflanzen an den Boden:		Weizen (Winter-)			Hafer		
		Bei nachstehendem Gehalt reifer Hafer-					
		geringe	mittlere	hohe	geringe	mittlere	hohe
1. An die aufnehmbaren Nährstoffe: 100 g Trockensubstanz reifer Haferwurzeln enthalten in g	Kali . . .	?	0,3—0,6	0,7 u. mehr	0,1—0,2	0,2—0,4	0,4 u. mehr
	Kalk . . .	?	0,3—0,4	0,4 „	0,2—0,3(?)	0,3—0,4	0,4 „
	Magnesia	?	?	?	0,01 (?)	?	?
	Schwefelsäure .	?	?	?	0,03 (?)	?	?
	Phosphorsäure .	?	0,2—0,4	0,5 u. mehr	0,1—0,2	0,2—0,3	0,3 u. mehr
	Stickstoff .	?	0,8—1,0	1,0 „	0,5—0,6	0,7—0,9	0,9 „

Anmerkung. Bei den gegebenen Zahlen ist festzuhalten, daß derjenige Bestandteil, welcher in geringster Menge vorhanden ist, die Erträge regelt und bewirkt, daß die Ernten resp. gering oder mittel ausfallen. Die übrigen Nährstoffe können dann in viel reichlicherer Menge vorhanden sein, wie sie in der Tabelle aufgeführt wurden, ohne daß sie deshalb den Ertrag zu steigern im Stande wären. (S. Seite 5 ff.)

Die Verschiedenheit der Ansprüche der Pflanzen an den Boden tritt besonders in Bezug auf den Kalkgehalt hervor. Zur Erreichung von hohen Ernten muß (resp. darf) der Kalkgehalt im Boden so hoch sein, daß die Haferwurzeln daraus aufzunehmen vermögen:

für Weizen . . . 0,4 % und mehr,
„ den Weinstock . 0,7 „ „ „
„ Klee . . . . 0,9 „ „ „
„ Lupine . . . 0,3—0,5 %.

Auf einem Boden, dessen Nährstoffgehalt so gering ist, daß Hafer nur dürftige Erträge liefert, bringt die Lupine noch mittlere Ernten hervor, wenn nur der Kaligehalt reichlich und der Kalkgehalt im Boden nicht zu beträchtlich ist. Die Lupine bedarf daher nur eine sehr geringe Nährstoffkonzentration im Boden.

in chemischer Beziehung.

Weinstock			Klee			Lupine		
wurzeln läßt der Nährstoffgehalt des Bodens folgende Erträge zu:								
geringe	mittlere	hohe	geringe	mittlere	hohe	geringe	mittlere	hohe
?	0,5—0,8	0,9 u. mehr	?	0,3—0,6	0,6 u. mehr	?	0,4—0,7	0,7 u. mehr
?	0,4—0,7	0,7 „	0,5—0,6	0,6—0,9	0,9 „	0,7 u. m. [3]	0,5—0,7	0,3—0,5 [2]
?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?
?	0,3—0,4	0,5 u. mehr	?	0,2—0,5	0,5 u. mehr	?	0,1—0,2	?
?	0,6—0,9	0,7—1,0 [1]	?	0,7—1,0	1,0 „	?	0,5—0,6	?

[1]) Ein höherer Stickstoffreichtum im Boden ist für den Ertrag an Trauben nachteilig. — [2]) Ein höherer Kalkgehalt ist für die Lupinen schädlich und bewirkt eine Verminderung des Wachstums. — [3]) Ein schlechtes Wachstum der Lupine ist natürlich auch noch durch einen zu geringen Kalkgehalt im Boden bedingt; das notwendige Kalkminimum konnte noch nicht festgestellt werden.

II. Ansprüche der Pflanzen

Ansprüche der Pflanzen an den Boden:	Weizen (Winter=). Die geringe	mittlere	hohe
2. Wasserdichte im Boden (Wassergehalt pro *l* Bodenraum in g)	270—300 Maxim.?	300—?	?
3. Nutzbare Bodenfeuchtigkeit in mm (kann durch Regen ausgeglichen werden!)	54—60	60—80	?
4. Durchlüftungsfähigkeit (des nassen Bodens) in mm Quecksilberdruck	30—40	?	?
5. Zusammenhang des Bodens	?	?	?

Anmerkungen: Die Wasserdichte im Boden wirkt sowohl durch ihre Niedrigkeit als auch durch ihre Beträchtlichkeit nachteilig auf den Pflanzenwuchs; übersteigt die Wasserdichte für die verschiedenen Pflanzen nach unten oder oben zu eine gewisse Grenze, so wirkt sie schädigend auf die Erträge. Eine zu hohe Wasserdichte wirkt wahrscheinlich nur wegen der Sauerstoffabschließung nachteilig auf die Vegetation.

in physikalischer Beziehung.

Roggen- (Winter-).			Hafer			Kartoffeln		
nachstehende Bodenbeschaffenheit läßt folgende Erträge zu:								
geringe	mittlere	hohe	geringe	mittlere	hohe	geringe	mittlere	hohe
163 u. wen. 350 u. mhr.	?	?	163 u. wen. 400 u. mhr.	?	?	163 u. wen. 400 u. mhr.	?	?
20—25	28—35	35—60	25—33	33—40	40—60	15—25	15—35	35—65
0 70 u. mehr	?	?	0 80 u. mehr	?	?	0 60 u. mehr	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?

Die nutzbare Bodenfeuchtigkeit und ihr Einfluß auf die Erträge des Bodens ist angegeben für regelmäßig verteilten Regenfall. Regenmangel verlangt daher größere Bodenfeuchtigkeit, bei reichlichem Regenfall kann eine geringere Bodenfeuchtigkeit doch hohe Erträge zulassen.

III. Ansprüche der Pflanzen in klimatischer Beziehung.

Nachstehende klimatische Verhältnisse lassen folgende Ernten zu:

Gerste.

Ansprüche der Pflanzen:		geringe: mittleres Maximum	geringe: mittleres Minimum	geringe: Temperatur-mittel	mittlere: mittleres Maximum	mittlere: mittleres Minimum	mittlere: Temperatur-mittel	hohe: mittleres Maximum	hohe: mittleres Minimum	hohe: Temperatur-mittel
6. Frostfreie Vegetationszeit nach dem nassen Minimum-Thermometer (verschieden je nach den Varietäten der Kulturpflanzen).		90 (84—126)								
7. Luft-Temperaturen[2]) (° C. im Schatten):	April	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Mai	?	?	4,0	?	?	?	?	?	?
	Juni	?	?	9,0	?	?	?	?	?	?
	Juli	?	?	12,5	?	?	?	?	?	?
	August	?	?	12,5	?	?	?	?	?	?
	September	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Oktober	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8. Belichtung (Sonnenschein in Stunden):	April, Mai, Juni, Juli, August, September, Oktober	?			?			?		
9. Regenfall:	Frühling, Sommer, Herbst, (Winter)	?			?			?		

Hafer.

Ansprüche der Pflanzen:		geringe: mittleres Maximum	geringe: mittleres Minimum	geringe: Temperatur-mittel	mittlere: mittleres Maximum	mittlere: mittleres Minimum	mittlere: Temperatur-mittel	hohe: mittleres Maximum	hohe: mittleres Minimum	hohe: Temperatur-mittel
6. Frostfreie Vegetationszeit nach dem nassen Minimum-Thermometer (verschieden je nach den Varietäten der Kulturpflanzen).		120 (112—154)								
7. Luft-Temperaturen[2]) (° C. im Schatten):	April	—	—	—	?	?	?	?	?	?
	Mai	?	?	6,5	?	?	?	?	?	?
	Juni	?	?	12,0	?	?	?	?	?	?
	Juli	?	?	14,0	?	?	?	?	?	?
	August	?	?	13,5	?	?	?	?	?	?
	September	?	?	9,0	?	?	?	?	?	?
	Oktober	—	—	—	?	?	?	?	?	?
8. Belichtung (Sonnenschein in Stunden):	April, Mai, Juni, Juli, August, September, Oktober	300—400			500—700			800 und mehr		
9. Regenfall:	Frühling, Sommer, Herbst, (Winter)	?			?			?		

Ansprüche der Pflanzen:		Zuckerrüben.									Wein.								
		Nachstehende klimatische Verhältnisse lassen folgende Ernten zu:																	
		geringe			mittlere			hohe			geringe			mittlere			hohe		
6. Frostfreie Vegetationszeit nach dem nassen Minimum-Thermometer (verschieden je nach den Varietäten der Kulturpflanzen).		150 (110—210)									ca. 177 [1])								
		mittleres Maximum	mittleres Minimum	Temperatur-mittel	mittleres Maximum	mittleres Minimum	Temperatur-mittel	mittleres Maximum	mittleres Minimum	Temperatur-mittel	mittleres Maximum	mittleres Minimum	Temperatur-mittel	mittleres Maximum	mittleres Minimum	Temperatur-mittel	mittleres Maximum	mittleres Minimum	Temperatur-mittel
7. Luft-Temperaturen [2]) (°C. im Schatten):	April	?	?	?	?	?	?	14,5	2,5	8,5	15,0	6,0	10,5	?	?	?	?	?	?
	Mai	?	?	?	?	?	?	17 0	4,5	11,0	19,0	8,0	14,0	?	?	?	?	?	?
	Juni	?	?	?	?	?	?	21,5	9,5	15,0	21,0	12,0	17,0	?	?	?	?	?	?
	Juli	?	?	?	?	?	?	23,5	12,5	17,5	25,0	14,0	20,0	?	?	?	?	?	?
	August	?	?	?	?	?	?	24,0	11,0	17,5	24,0	14,0	19,0	?	?	?	?	?	?
	September	?	?	?	?	?	?	20,5	9,5	15,0	20,5	11,0	16,0	?	?	?	?	?	?
	Oktober	?	?	?	?	?	?	10,5	4,0	7,5	12,0	4,0	9,0	?	?	?	?	?	?
8. Belichtung (Sonnenschein in Stunden):	April, Mai, Juni, Juli, August, September, Oktober	?			?			900—1000			700—800 [1])			1000 [1])			1200 [1])		
9. Regenfall:	Frühling, Sommer, Herbst, (Winter)	?			?			?			?			?			?		

[1]) Nach den Mitteilungen von Oberlin: „Der Weinbau in Elsaß-Lothringen". 1880. — [2]) Die täglichen Mittel-Temperaturen wurden nur als ungefährer Anhalt aufgeführt, weil z. T. aus den betreffenden Gegenden keine Angaben über mittleres Maximum (höchste Tages-Temperaturen) und mittleres Minimum (geringste Nacht-Temperaturen) zur Einsicht standen. Das mittlere Maximum der Temperaturen kann ungefähr 4—6° höher angenommen werden, als die täglichen Mitteltemperaturen. — Nur des Vergleiches wegen wurden auch für die übrigen Kulturpflanzen die mittleren Tages-Temperaturen beigefügt. —

Sach-Register.

Berichtigungen.

Seite 3, Zeile 6 u. 7 von unten, lies: „für den praktischen Pflanzenbau" (statt: „für die praktische Landwirtschaft").
Seite 113, Zeile 1 von unten, lies: „Torfboden **801** g" (statt „1260 g").
Seite 200, Zeile 6 von oben, lies: „In der Berberei ist die Fruchtbarkeit des Ackers nur vom Regenfall abhängig" (statt: „In der Berberei ist die Feuchtigkeit u. s. w.").

Druck der Hinstorff'schen Buchdruckerei in Rostock.


100

[illegible]
b[illegible]
A[illegible]
A[illegible]

Druck der Hinstorff'schen Buchdruckerei in Rostock.

Obern